

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Studijní program: N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: Textilní a oděvní technologie

ANALÝZA ŠÍŘENÍ KAPALNÉ VHKOSTI
TEXTILÍ

ANALYSIS OF LIQUID MOISTURE
MANAGEMENT OF TEXTILES

Katedra oděvnictví – DOV

LIBEREC 2013

Bc. Jitka Kolářová

Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci, dne 14. 1 2013

Podpis

Poděkování

Ráda poděkovala vedoucí diplomové práce paní Ing. Renátě Nemčokové za vedení při zpracování práce a cenné rady při tvorbě experimentu. Děkuji pánům Ing. Rudolfovi Třešňákovi a Ing. Michalovi Chotěborovi za pomoc při zkouškách v laboratořích a za jejich ochotu. Mé díky také patří také paní Haně Rulcové, za pomoc při přípravě vzorků, paní Martině Čimburové za zapůjčení stojanu a paní Ing. Haně Štočkové za odbornou konzultaci. Děkuji také své rodině, přátelům a kolegům v práci za morální podporu a trpělivost.

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá šířením kapalné vlhkosti pomocí nové metody měření. Metoda simuluje odvod potu od pokožky. Měřícím zařízením byla termovizní kamera, která sloužila jako zobrazovací prostředek teplotních polí. Ovšem teplota nebyla hodnotícím parametrem, nýbrž plocha teplotních polí v mm². Jednotlivé kapitoly teoretické části přibližují problematiku tohoto tématu. V experimentální části je popsána příprava experimentu, měřící aparatura, postup vyhodnocení výsledků obrazovou analýzou, zvolení hledisek pro hodnocení experimentu a diskutování výsledků. Experiment probíhal ve dvou etapách a to snímání vzorku z rubní a lící strany. Výsledkem práce je doporučení funkčních pletenin vhodných pro zhotovení triček, které zajistí fyziologický komfort pro nositele.

Annotation

In our thesis we explore the spread of a liquid moisture using the new method of measurement. This method simulates a perspiration of sweat from the skin. Our measuring device was an infrared camera, which has also been used as an imaging tool of the temperature fields. The temperature itself was not the evaluated parameter, but the surface temperature fields in mm². More information about this topic is to be found within the individual chapters of the theoretical part. In the experimental part we describe experiment preparation, measuring equipment, the process of results evaluation using an image analysis, approaches for the experiment evaluation and discussion of the results. The experiment has been conducted in two stages, where we observed the sample separately from the reverse and the obverse side. As a result of this work we propose a recommendation for the functional knitted fabrics to be used for production of physiologically comfortable T-shirts.

Klíčová slova – key words:

Emisivita	Emisivity
Termografie	Thermography
Vzorek	Sample
Snímání	Scanning
Teplota	Temperature
Pletenina	Knitted fabric
Vlhkost	Moisture

OBSAH

ÚVOD.....	11
TEORETICKÁ ČÁST	12
1 Termografie	12
1.1 ThermaCAM S60	13
1.2 Termogram.....	15
1.2.1 Elektromagnetické spektrum	17
1.2.2 Program ThermaCAM™ Researcher	18
1.2.3 Obrazová analýza.....	19
1.2.4 Techniky termografického měření teplot.....	20
1.3 Infrazobrazovací systémy.....	20
1.3.1 Obecný proces infra-zobrazení	21
1.3.2 Vnitřní faktory generace a detekce povrchového teplotního reliéfu.....	21
1.3.3 Emisivita	22
1.3.4 Teplota atmosféry, vlhkost a vzdálenost.....	22
1.3.5 Přenos externí optikou a teplota.....	23
1.3.6 Infračervené spektrální filtry	23
1.3.7 Jednotky měření	23
1.3.8 Snímání teplotních polí	24
1.4 Bezdotykové měření teploty	26
1.4.1 Princip bezdotykového měření	27
1.5 Teplota.....	27
1.5.1 Snímač teploty	28
2 Oděvní komfort.....	31
2.1 Termoregulace.....	33
2.1.1 Tělesná teplota	33
2.1.2 Teplota kůže.....	34

2.2	Způsoby měření termofyziologického komfortu	36
2.2.1	Gravimetrická metoda.....	36
2.2.2	Metoda DREO	37
2.2.3	SKIN-model.....	37
2.2.4	Alambeta	37
2.2.5	Přístroj Permetest.....	37
3	Transport vlhkosti	39
3.1	Přenos tepla a vlhkosti v textiliích	40
3.1.1	Dynamické teplo a vlhkost transportovaná v textiliích	40
3.2	Odvoody vlhkosti z povrchu lidského organismu.....	41
3.2.1	Kapilární odvod potu	41
3.2.2	Migrační způsob odvodu potu	41
3.2.3	Difúzní odvod vlhkosti	42
3.2.4	Sorpční odvod vlhkosti	42
3.3	Hydromechanické vlastnosti textilních materiálů	42
3.3.1	Hydroskopičnost	43
3.3.2	Vzlínavost	43
3.3.3	Smáčivost.....	43
3.4	Sorpční vlastnosti	44
3.4.1	Faktory podmiňující sorpci	44
3.4.2	Procesy sorpce – vliv na druh materiálu.	45
3.5	Moisture management tester	46
3.5.1	Princip činnosti přístroje:.....	47
3.5.2	Parametry hodnocení:	47
3.5.3	Sedm hlavních typů textilií	48
3.6	Možnosti testování odvodu vlhkosti	49

3.6.1	MMT: metoda charakterizující vlastnosti managementu kapalně vlhkosti textilií	49
3.6.2	Vliv managementu vlhkosti na funkční oděv do chladného prostředí.....	50
3.6.3	Vlastnosti managementu vlhkosti u pletenin z vlny/polyesteru a vlny/bambusových vláken pro základní sportovní vrstvu	51
3.6.4	Moisture Management Tester: Metoda charakterizuje textilie s vlastností managementu kapalně vlhkosti.....	52
3.7	Typy funkčních materiálů na trhu	53
3.7.1	Polartec® Power Stretch®	53
3.7.2	Polartec® Power Stretch-RX®	53
3.7.3	Lycra®	53
3.7.4	SUPPLEX®	54
3.7.5	COOLMAX®	54
3.7.6	THINSULATE®.....	54
	Experimentální část.....	55
4	Stanovení experimentu	55
4.1	Konstrukční parametry pletenin.....	55
4.1.1	Plošná hmotnost	55
4.1.2	Tloušťka.....	56
4.1.3	Materiálové složení.....	59
4.2	Stanovení experimentu.....	62
4.2.1	Postup měření	66
4.2.2	Zpracování dat	66
4.2.3	Podmínky měření	70
4.2.4	Schéma měřicího zařízení	70
5	Vyhodnocení experimentu.....	73
5.1	Zpracování dat	73
5.1.1	Zpracování dat v programu Microsoft Excel	73

5.1.2	Metodika vyhodnocení grafického znázornění	73
5.1.3	První minuta měření – průměrné hodnoty rubní strany	74
5.1.4	Druhá minuta měření – průměrné hodnoty rubní strany	76
5.1.6	Třetí minuta měření – průměrné hodnoty rubní strany	78
5.1.5	První minuta měření – průměrné hodnoty lící strany	81
5.1.6	Druhá minuta měření – průměrné hodnoty lící strany	83
5.1.7	Třetí minuta měření – průměrné hodnoty lící strany	86
5.2	Výsledky	88
5.2.1	První minuty měření	88
5.2.2	Druhé minuty měření	88
5.2.3	Třetí minuty měření	89
5.2.2	Porovnání výsledků dle materiálového složení	89
ZÁVĚR		90
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		91
SEZNAM PŘÍLOH		94

ÚVOD

Již mnoho vědců, badatelů a institutů se věnovalo problematice managementu vlhkosti kapaliny. Management odvodu vlhkosti je základní kritérium pro materiály, které chceme použít na výrobu funkčních oděvů. Managementem odvodu vlhkosti je míněna schopnost materiálu rychle odvádět kapalinu (pot) od lidské pokožky z rubní strany materiálu na lící a zajistit tak komfort nositele. Tuto schopnost mají především takzvané vícerozměrné pleteniny, které svojí strukturou a složením umožňují splnit tento požadavek na rychlý transport kapalné vlhkosti. Stále však není vynalezena metoda, která by zohledňovala všechny aspekty, na které je třeba brát zřetel. Tato práce uvádí nový experiment, kde pomocí termovizní kamery budou sledovány plochy šíření kapalné vlhkosti a to snímáním rubní strany vzorku a následně lící strany vzorku. Termovizní kamera se obvykle používá k měření teplotních polí, v tomto experimentu však byla použita jako zobrazovací prostředek vlnových délek, které pouhým okem nemůžeme vidět.

Oděvní komfort je stav fyziologické, psychologické a fyzikální harmonie mezi člověkem a prostředím. Je v něm zahrnuta ochrana proti chladu a teplu, optimální transport vlhkosti skrze jednotlivé vrstvy oděvu a vjemy, které se získávají mechanickým kontaktem mezi textilií a pokožkou. Dnešní doba si žádá stále vyšší kvalitu sportovních oděvních výrobků a pouze oděvy zajišťující vysoký oděvní komfort mohou obstát na trhu.

TEORETICKÁ ČÁST

Teoretická část se zabývá nejprve rešeršní částí zaměřenou na termografii, teplotu, principy snímání tepla, pyrometry, termovizní techniku, Infračervené zobrazení apod. Ve druhé části se věnuje problematice oděvního komfortu, sorpčními vlastnostmi materiálů, odvodem vlhkosti a tepla.

1 Termografie

Infračervená termografie je vědní obor, který se zabývá analýzou rozložení teplotního pole na povrchu tělesa a to bezkontaktním způsobem. Úkolem termografie je analýza infračervené energie vyzařované tělesem. Termografickým měřicím systémem lze zobrazit teplotní pole měřeného objektu, ale pouze na jeho povrchu. Obor termografie se v širším měřítku rozvinul společně s rozšířením infračervených kamer, pro které se obecně vžilo slovo termovizní kamera, resp. termovize. Tento termín vznikl z názvu prvního výrobce infračervených kamer, firmy Thermovision, dnes FLIR.

Na princip měření přišel fyzik Max Planck.

Termovizní kamery umožňují zobrazit infračervené záření tělesa tak, aby jej bylo možné vidět (vizualizace). Toho se využívá mj. pro:

1. hledání úniků tepla z budov
2. sledování elektrických vedení a jejich poškození
3. určení poruchy vyhledáním nehomogenit teplotního pole
4. neinvazivní detekci zánětů pod kůží
5. měření rozložení teploty pro účely vědy a výzkumu
6. automatizaci procesů
7. detekci pohybu osob v zabezpečených objektech
8. noční vidění

Výstupem z termovizní kamery je infračervený snímek, odborně termogram, resp. termovizní snímek. Radiometrické termovizní kamery pak uživateli umožní určit teplotu v jednotlivých bodech termogramu. Určení teploty však není snadné, protože závisí na několika parametrech. Jeden z hlavních parametrů je emisivita tělesa. Ideálně

černé těleso má emisivitu 1, lesklá tělesa mají emisivitu velmi malou (až 0,1). Malá emisivita tělesa většinou znamená menší přesnost měření. Do měřeného zářivého toku tělesa totiž může značným způsobem vstoupit zdánlivá odražená teplota, která ovlivňuje. [2]

1.1 ThermaCAM S60

K získání snímků pro analýzu teplotních polí bylo použito zařízení ThermaCAM S60. Jedná se o infračervenou kameru s nechlazeným mikrobolometrickým detektorem FPA čtvrté generace s rozlišením 320×240 obrazových bodů. Součástí kamery je odejímatelný 4LCD displej s dálkovým ovládáním a software pro termickou analýzu ThermaCAM Researcher.

Předností kamery je velmi výkonný systém pro sběr dat v reálném čase, za jehož pomoci je schopna rychlého a přesného vyhodnocení pozorovaného objektu z tepelného hlediska. Za pomoci této technologie jsme schopni analyzovat tisíce datových bodů (v bitovém JPG formátu se jedná o více než 76000 obrazových bodů). Zachycený obraz (video) je přesný, ostrý a jasný. ThermaCAM S60 vytváří až 60 snímků za sekundu. Díky této rychlosti zaznamenává i velmi prudké teplotní změny pozorovaného objektu.

Kamera disponuje interní pamětí, do které lze ukládat až 600 snímků. Další možnosti jsou externí karty, jejíž kapacita je v našem případě 128 MB.

Kamera ThermaCAM S60 je velmi flexibilní zařízení, které se využívá ve výzkumu, vývoji a při kontrole výrobních procesů. Jeho funkce však nejsou omezeny jen na technické obory. Své uplatnění nachází také ve zdravotnictví, v armádě, nebo textilním průmyslu. [2], [20]



Obr.č.1 ThermaCAM S60

Parametry kamery Therma CAM S60:

Obrazový výkon:

- **TERMÁLNÍ:** Zorné pole / minimální vzdálenost zaostření : $24^{\circ} \times 18^{\circ}$ / 0.3 m, prostorové rozlišení: 1.3 mrad, frekvence obrazu: 50 - 60 Hz, tepelná citlivost při 50 / 60 Hz: 0.06°C až 30°C , zaměření: automat./manuální, detektor: ohniskové pole FPA / nechlazený mikrobolometr, rozlišení detektoru: 320 x 240 obrazových bodů, spektrální rozsah: 7.5 až $13\ \mu\text{m}$.
- **VIZUÁLNÍ:** Vestavné digitální video – plně barevné: 640 x 480 obrazových bodů

Obrazová prezentace:

Součástí kamery je vestavný LCD displej s velkým rozlišením a externí displej 4" LCD s integrovaným dálkovým ovládáním.

Měření:

- **TEPLOTNÍ ROZSAHY:** -40°C až $+120^{\circ}\text{C}$, 0°C až $+500^{\circ}\text{C}$, $+350^{\circ}\text{C}$ až $+1500^{\circ}\text{C}$, až $+2000^{\circ}\text{C}$
- **PŘESNOST** - $\pm 2^{\circ}\text{C}$ nebo $\pm 2\%$
- **EMISIVITA** – nastavitelná v rozmezí 0.1 – 1.0
- **MĚŘÍCÍ FUNKCE** – nastavení teploty okolí, vzdálenosti, relativní vlhkosti vzduchu

Paměťové médium:

Interní paměť kamery je 50 snímků, vestavná RAM paměť pro reálný záznam má kapacitu 600 snímků a externí paměť má kapacitu 128 MB. Tepelný i vizuální obraz je ukládán ve formátu JPEG. Kamera nahrává 30 sekundové hlasové klipy s obrazem.

Zdroj:

Součástí kamery je vyměnitelná napájecí baterie Li-Ion, která je funkční po dobu 2 hodin při nepřetržitém používání zařízení. Další možností je napájení je externí adaptér - AC adaptér 110/220 VAC, 50/60 Hz. Systém kamery umožňuje úsporu energie za pomoci funkcí automatické vypnutí kamery a režimu spánku.

Životní prostředí:

Rozsah provozních teplot je -15 °C až +50 °C a rozsah skladovacích teplot je -40 °C až +70 °C při vlhkosti 10 % až 95 % v obou případech.

Fyzikální vlastnosti:

- HMOTNOST - 2.0 kg s baterií a rukojetí a 1.4 kg bez baterie a rukojetě
- VELIKOST - 100 mm x 120 mm x 220 mm, [20], [2]

1.2 Termogram

Termogram, nebo termovizní snímek, resp. infračervený snímek je obraz pořízený termokamerou. Infračervené záření je pro lidské oko neviditelné a proto se termovizní snímky vizualizují za použití okem viditelných palet, které přiřazují barvu různým teplotám (různému množství tepelného toku). Stejný snímek tak lze zobrazit v odlišných barevných paletách a tím zviditelnit nebo zdůraznit jiná místa. Pro termogramy se používají standardní palety, například:

- železo
- duha
- stupně šedi

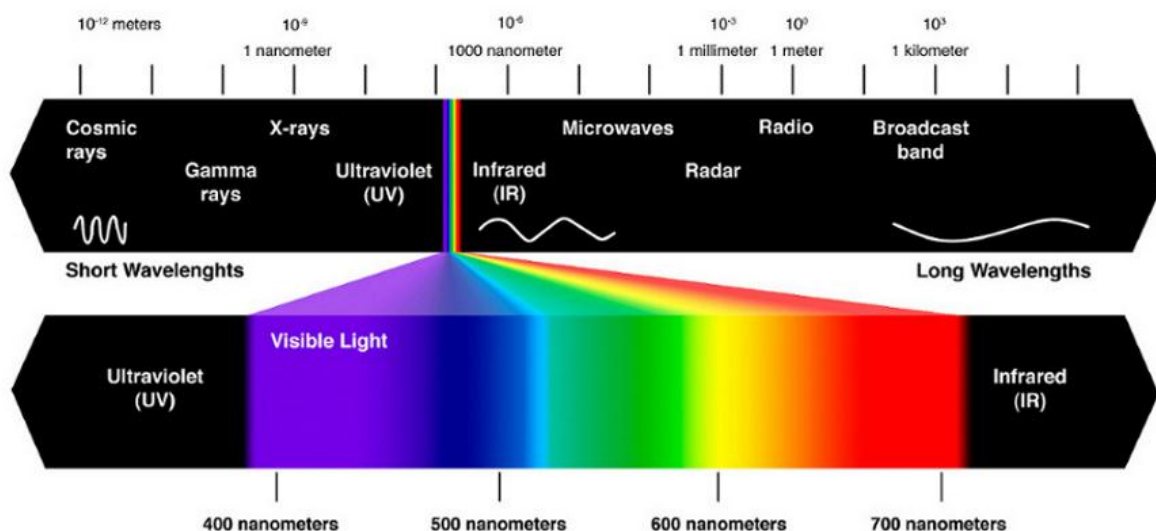
Termovizní snímky mohou být radiometrické a neradiometrické (pouze zobrazující). Radiometrické termovizní systémy umožní vypočítat teplotu na povrchu tělesa. Základem pro výpočet je množství snímaného infračerveného zářivého toku. V plně radiometrickém termogramu lze provádět měření teplot a upravit parametry snímku i po jeho uložení. Těmito parametry jsou např. emisivita a zdánlivá odražená teplota, vzdálenost od měřeného objektu a údaje o okolní atmosféře. Všechny tyto parametry mají vliv na výslednou naměřenou teplotu.

Na naměřenou hodnotu v bodě má však vliv i velikost obrazového bodu. Zajímá-li nás objekt ve větší vzdálenosti, může měření ovlivnit i velikost snímané plochy a plocha detektoru. Bude velikost snímaného obrazového bodu větší než měřený objekt, pak bude výsledek měření ovlivněn okolím měřeného objektu. V takovém případě se můžeme s termovizní kamerou např. přiblížit, případně použít jinou optiku (teleobjektiv), nebo zvětšit rozlišení detektoru. Rozlišení detektoru je u nejlevnějších kamer asi 80x80 obrazových bodů (pixelů) a u špičkových laboratorních termovizních kamer až 1024x1024 bodů. Při hodnocení velikosti plochy detektoru je třeba mít na paměti, že dvojnásobný rozměr detektoru znamená čtyřnásobnou plochu snímku a tím i čtyřnásobný počet obrazových bodů.

Dalším důležitým parametrem je teplotní citlivost, která u dobrých kamer může dosahovat až 50 mK (rozliší rozdíl teplot od 0,05°C).

Vyspělé termovizní kamery nabízejí prolínání termogramu a běžné fotografie do jednoho snímku a to jak ve výřezu (obraz v obraze), tak i dle určeného rozsahu teplot teplotního pole (například lze červeně zobrazit místa s poruchou).

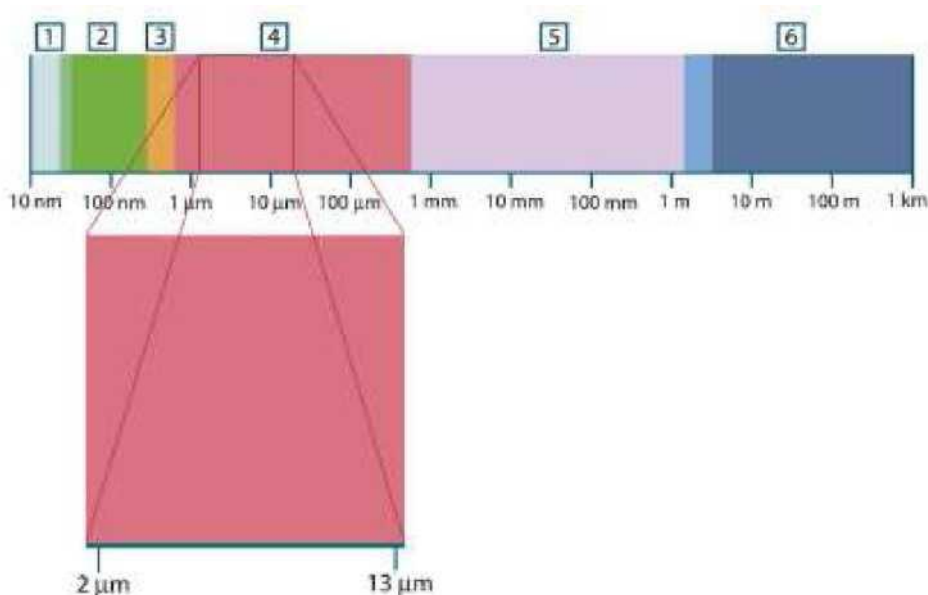
Termografický systém poskytuje informace o pozorovaném objektu a jeho okolním prostředí. Systém funguje na principu zobrazení infračerveného záření rozloženého na jednotlivé elementární plochy, které se v určitém časovém intervalu zobrazují jako tepelný obraz – termogram. Vlastnosti obrazu se v prostoru a čase mění, jsou popisovány jako parametrické pole. Transformace primárního parametrického pole na termogram probíhá v reálném čase při obrazové frekvenci 50 – 60 Hz. Spektrální rozsah kamery Therma CAM S60 je 7,5 až 13 μm . [2], [3]



Obr. č. 2 Elektromagnetické spektrum

1.2.1 Elektromagnetické spektrum

Elektromagnetické spektrum je rozděleno (na základě úmluvy) podle vlnových délek do několika skupin, kterým se říká *vlnová pásma* a která jsou dále rozdělena podle metod používaných pro vytváření (zdroje) a zjišťování (detekční systémy) radiace-vyzařování. Neexistuje žádný základní rozdíl mezi vlnovými pásmy elektromagnetického spektra. Všechny podléhají stejným zákonům a liší se pouze vlnovými délkami.



Obr. č. 3. Elektromagnetické spektrum. 1: rentgenové záření; 2: ultrafialové záření; 3: viditelné záření; 4: infračervené záření; 5: mikrovlnné záření; 6: radiové záření.

Termografie využívá vlnové pásmo infračerveného (dále IČ) záření. Hranice začátku pásma krátkovlnného IČ záření je tam, kde končí tzv. viditelné pásmo (tmavě červená). Hranice konce pásma dlouhovlnného IČ záření je tam, kde začíná pásmo mikrovlnných vlnových délek, tj. v pásmu několika milimetrů vlnové délky. Vlnové pásmo IČ záření je ještě často děleno do čtyř menších pásem, které mají rovněž (uměle) stanovené hranice. Jsou to tato pásma: near infrared-blízké *IC* (0,75-3 p,m), middle infrared- střední *IC* (3-6 p,m), far infrared-vzdálené *IC* (6-15 p,m) a extreme infrared-velmi vzdálené (15-100 p,m). Přestože jsou vlnové délky udávány v (mikrometrech), používají se v tomto spektrálním pásmu i jiné jednotky, např. nanometry (nm) a Ångstrómy (Å).

[2]

Vztah mezi různými jednotkami je následující:

$$10\,000\text{ Å} = 1\,000\text{ nm} = 1\text{ }\mu = 1\text{ }\mu\text{m}$$

1.2.2 Program ThermaCAM™ Researcher

Základní účelem tohoto programu je práce s „živými“ IČ obrazy-termogramy, které jsou zaváděny do počítače pomocí interface kamery. Program umožňuje studium-rozbor termogramů, které jsou zaváděny (podle hardware konfigurace) do počítače s vysokou/střední/nízkou rychlostí. Je možné termogramy zobrazovat, zaznamenávat je na disk a analyzovat je při přehrávání. Je možné provádět měření výsledných hodnot či vyhodnocování přímo v reálném čase, ale pouze pro obrazy (jejich soubory), které nebudou také současně zaznamenávány. Měření se provádí pomocí těchto nástrojů rozboru: izoterma spotmeter/měření v bodě, oblast a čára. Výsledky získané pomocí těchto nástrojů rozboru mohou být zobrazovány spolu s termogramem, v okně profilu, v okně histogramu, v okně tabulky výsledků nebo vykreslovány v okně grafu. Výsledky mohou být upravovány pomocí vzorců.

Program používá sady předdefinovaných rozvržení obrazovky, jednu pro každý druh činnosti, kterou chcete vykonávat. Můžete také získávat informace z ThermaCAM™ Researcher pomocí OLE (to je automatický způsob přenosu informací mezi programy pracujícími v prostředí Windows) a vkládat je například do MS Excel nebo MS Word. Termogramy mohou být přenášeny stejným způsobem. [2]

1.2.3 Obrazová analýza

Princip: **Lucia G** je systém firmy Laboratory Imaging, který zpracovává a analyzuje barevný obraz na základě matematické morfologie. Princip této matematické disciplíny a její aplikace v programu Lucia G je pojetí analyzovaného objektu jako množiny bodů. Program Lucia G používá 1232 x 972 pixelů na zobrazení obrazu, což je vlastně i maximální efektivní rozlišení systému. Lucia G umožňuje zobrazení obrazu na monitoru.

Lucia G rozeznává dva základní typy obrazů: binární a barevný, každý šedý obraz je odvozený. Binární obrazy mají dvě možné hodnoty, 0 pro pozadí a 255 pro objekty a struktury. Tvoří se funkcemi jako Prahování (Threshold) a často se o nich mluví jako o segmentových obrazech. To zejména v případech, kdy se zdůrazňuje jejich vazba na původní barevný obraz, ze kterého vznikly segmentací. Používají se pro měření tvaru a velikosti. Barevné obrazy se skládají ze tří složek RGB, které představují intenzitu červené, zelené a modré. Hodnoty pixelů pro každou složku jsou od 0 do 255. Pro systém Lucia G je to nejpřirozenější typ obrazu, převedený digitalizační kartou. Šedé obrazy jsou obrazy odvozené. Hodnoty pixelů se mění od 0 do 255, ale jsou v každém pixelu identické pro všechny tři složky. Šedé obrazy nejsou vlastní systému Lucia G, ale mohou se vytvářet několika transformacemi např. vytažením složek z RGB reprezentace. Protože šedé obrazy jsou speciálním případem barevných obrazů, odvolává se na nějako na obrazy barevné.

Prahování

Správné prahování je klíčovým krokem ve většině úloh analýzy obrazu. Určujeme tím, které pixely budou a které nebudou zahrnuty do binární vrstvy a tím zároveň které části obrazu budou analyzovány. Binární vrstvu, jako výsledek prahování, je možné po jejím vytvoření upravovat pomocí editoru binární vrstvy.

Automatické měření

Je velice mocným nástrojem analýzy obrazu. V kombinaci s použitím maker lze program NIS-Elements AR využít jako polo-či plně automatizovaný nástroj analýzy obrazu. Typická úloha řešená takovým systémem by měla obsahovat následující kroky:

- Kalibrace optického systému
- Snímání obrazu

- Definice prahování, tvorba binární vrstvy
- Provedení automatizovaného měření
- Presentace výsledků

1.2.4 Techniky termografického měření teplot

Infračervená kamera měří a zobrazuje objektem vyzařované infračervené záření. Skutečnost, že záření přímo závisí na povrchové teplotě objektu, umožňuje kameře tuto teplotu vypočítat a zobrazit. Avšak radiace měřená kamerou nezávisí pouze na teplotě objektu, ale také na emisivitě. Záření také vzniká v okolním prostředí a odráží se od objektu. Záření objektu a odražené záření jsou rovněž ovlivněny pohlcováním při průchodu atmosférou. K přesnému měření teploty je proto nutné kompenzovat účinky různých zdrojů radiace. To kamera provádí automaticky za provozu. Do kamery je však nutné zadat následující parametry objektu:

- emisivita objektu
- odražená teplota
- vzdálenost mezi objektem a kamerou
- relativní vlhkost

1.3 Infrazobrazovací systémy

Obrazem energetického stavu živé a neživé hmoty daného rotačně vibračními kmity atomů a molekul (tepelné energie hmoty – tepla) je fyzikální veličina teplota. Zobrazení prostorové a časové distribuce teploty je stěžejním úkolem infrazobrazovacích systémů (IR, ZS). Bezkontaktní mapování teploty je spojeno s využitím infračervené části elektromagnetického spektra (0,7 μm . 1 mm), která byla objevena W. Herschelem (1738 – 1822) v roce 1801. Od jeho syna J. Herschela (1792 -1871) pochází termín „termografie“. Termogram – obraz povrchového teplotního reliéfu snímaného objektu v sobě nese informace nejen o jeho vnitřním stavu (ovlivňuje tvorbu tepelné energie) a strukturu (ovlivňuje mechanismy šíření tepla), ale i o jeho povrchových vlastnostech (ovlivňují schopnost vyzařování IR). Analýzou termogramu tak lze, kromě jiného, získat unikátní informace spojené jednak s generací povrchového teplotního reliéfu a jednak s mechanismy přeměny tepelné energie hmoty na infračervené záření.

Začátky vývoje elektronických IR ZS jsou spojeny s konstrukcí zařízení pro noční vidění během 2. světové války (noktovize – aktivní systém se současným zaváděním a většinou i současným vyhodnocením informace. Následoval vývoj pasivních skenovacích analogových IR systémů v padesátých letech – s jedním elementárním IR detektorem, resp. malou mozaikou (sloupcem/řádkem) IR detektorů a jejich digitalizace v souladu s vývojem moderních číslicových technologií. Válečný konflikt v Perském zálivu (1990) vedl k zavedení nové technologie mozaikových IR obrazových detektorů FPA(Focal Plane Array), která umožnila konstrukci moderních pasivních nechlazených neskenovacích IR ZS. [1], [20]

1.3.1 Obecný proces infra-zobrazení

Signálový radiační tok detekovaný IR ZS je determinován jednak tokem od vlastního snímaného objektu a jednak tokem od pozadí a vnějších radiačních zdrojů. Situace je navíc komplikována skutečností, že detekovaný ER zářivý tok je ovlivněn teplotou a transparentí atmosféry, ochlazováním povrchu objektů prouděním vzduchu, a u obecných zdrojů i směrovostí jejich vyzařování. Také tvorba povrchového teplotního reliéfu je ovlivněna skladbou snímaného objektu a existencí vnitřních zdrojů tepelné energie. Jeví se proto jako účelné definovat tzv. vnitřní a vnější faktory generace a detekce povrchového teplotního reliéfu. [2]

1.3.2 Vnitřní faktory generace a detekce povrchového teplotního reliéfu

Do kategorie vnitřních faktorů patří všechny skutečnosti, které ovlivní generaci a šíření tepelné energie v zobrazovaném objektu a nelze je v procesu zobrazení ovlivnit. Vzhledem k tomu, že tepelná energie se ve většině objektů šíří tepelnou kondukcí (vedením tepla: vzájemné předávání rotačně-vibračních kmitů mezi pevně vázanými částicemi pomocí pružných a nepružných srážek částic ve směru teplotního spádu) a tepelnou konvekcí (vzájemné předávání rotačně-vibračních kmitů mezi pevně vázanými částicemi a proudícími částicemi), bude vznikající povrchový teplotní reliéf ovlivněn vlastnostmi a skladbou zobrazovaného objektu - vodivostí tepla, rychlostí proudění a viskozitou proudící kapaliny.

Vnitřní faktory živých objektů vykazují zvláštní specifika. Základním atributem živé hmoty je látková a energetická přeměna. Rozkladem tuků, sacharidů a bílkovin,

které jsou obsaženy v potravě, získává organismus energii, kterou využívá k činnosti orgánů, svalové práci a udržení relativně konstantní teploty tělesného jádra (člověk je homolotermní. Poněvadž se teplo tvoří v těle neustále, musí mít organismus schopnost odvádět část tepla, je-li ho produkováno více, nežli je zapotřebí k udržení chemických reakcí spojených a látkovou výměnou. Naopak v případě, že podmínky pro udržení metabolismu nejsou příznivé, musí mít schopnost zvýšit tvorbu tepla. Regulace ztrát tepla je tvořena tzv. fyzikální termoregulací. Regulace tvorby tepla je tvořena tzv. chemickou termoregulací (regulace chemických dějů látkové výměny v jednotlivých buňkách a orgánech - metabolické teplo). [1]

1.3.3 Emisivita

Nejdůležitější parametr objektu, který musí být správně určen, je emisivita. Emisivita objektu je – stručně řečeno - poměr množství záření emitovaného objektem a záření dokonalého černého tělesa. Vyzařování běžných materiálů a upravených povrchů vykazuje emisivitu přibližně v rozsahu od 0,1 do 0,95. Silně vyleštěný povrch (zrcadlo) má emisivitu nižší než 0,1, kdežto oxidovaný nebo natřený povrch má emisivitu mnohem vyšší. Olejové barvy mají ve viditelném spektru emisivitu větší než 0,9, nezávisle na jejich barvě. Lidská pokožka má emisivitu blízkou 1. Neoxidované kovy jsou extrémním případem skoro naprosté nepropustnosti a vysoké odrazivosti, která se moc nemění v různých vlnových délkách. Proto je emisivita kovů nízká - zvyšuje se pouze s teplotou. Nekovy mají většinou vysokou emisivitu, která se snižuje s teplotou. Bezrozměrná veličina v rozsahu $<0,1>$. Vlastnost povrchu tělesa, která je závislá na jeho teplotě a vlnové délce vydávaného záření. [2], [20]

Zjištění emisivity objektu:

- Termoelektrickým článkem
- Referenční emisivitou

1.3.4 Teplota atmosféry, vlhkost a vzdálenost

Tyto parametry jsou používány pro kompenzaci vlivu toho, že záření objektu je částečně pohlcováno v atmosféře, která je mezi objektem a kamerou, a že propustnost atmosféry klesá s narůstající vzdáleností. Pokud je vysoká vlhkost vzduchu, velká vzdálenost a teplota objektu je přibližně stejná jako teplota atmosféry, je potom

důležité nastavit tyto parametry a kompenzovat tak vliv atmosféry (útlum). Propustnost atmosféry poměrně závisí na relativní vlhkosti vzduchu. Proto je nutné zadat přesnou hodnotu parametru relativní vlhkosti. Pro malé vzdálenosti může být hodnota relativní vlhkosti ponechána na předvolených 50%. Pokud znáte lépe propustnost atmosféry než je její vypočtená hodnota a kterou vypočítává interní software kamery na základě vloženého modelu přenosu, můžete potom použít vámi známé hodnoty přenosu. Vliv parametrů na přenos atmosférou, resp. výpočet propustnosti atmosféry můžete zrušit tak, že zadáte do „estimated transmissison/ odhadovaný přenos“ hodnotu 1.0. [2]

1.3.5 Přenos externí optikou a teplota

V určitých případech, kdy je použita externí optika, jako je například ochranný kryt kamery s vlastní optikou (oknem) nebo přídavný objektiv – je tedy vložen další optický prvek do optické cesty mezi měřeným objektem a kamerou, dochází k určitému pohlcení záření tímto optickým prvkem. Aby bylo možné provést korekci přenosu externí optikou, je nutné zadat přenos externí optikou a její teplotu. [2]

1.3.6 Infračervené spektrální filtry

Jakýkoliv objekt, jehož teplota je vyšší než 0 K emituje (vyzařuje) elektromagnetické záření v širokém spektru vlnových délek. Čím je objekt teplejší, tím je intenzita vyzařování větší, rozšiřuje se oblast vyzařování, která se dále posouvá ke kratším vlnovým délkám. Infračervené detektory kamer jsou ale citlivé pouze v určité části infračervené oblasti (na určitých vlnových délkách). Výpočet teplot (teplotních polí) IČ kamerami je založen na předpokladu, že i v dalších oblastech vlnových délek je obdobné vyzařování, jako je v kamerou měřené oblasti. IČ kamery jsou kalibrovány pomocí standardních černých těles s různými teplotami. Každý objekt (umístěný v atmosféře), jehož vlastnosti jsou obdobné, jako má černé těleso, může být obdobně měřen jako černé těleso. Některé objekty mohou mít ale jiné vlastnosti. [2]

1.3.7 Jednotky měření

Termografií se rozumí zobrazování teplotních polí na povrchu různých objektů. Výsledkem má být především stanovení (vyhodnocení) teploty a v to jednotkách Celsia, Fahrheita nebo Kelvina, se kterými počítá ThermaCAM™ Researcher. Jiným

výsledkem může být celkové vyzařování z objektu, ale protože IČ kamera je citlivá pouze v určité části spektra, potom přesnost takového měření nemůže být velká. Z tohoto důvodu nemohou být použity žádné standardizované jednotky pro zobrazení vyzařování. Místo toho se používají nestandardizované jednotky jako je object signal/signál objektu (zkratka OS). Je to signál přibližně úměrný intenzitě záření snímaného detektorem kamery, který může být použit pro srovnávací měření záření v tom samém měřicím rozsahu pro tu samou kameru. Určitá měření, jako je standardní odchylka, mohou přinést výsledek, který by mohl být nejlépe popsán na difference temperature/rozdíl teploty (nebo difference object signal/ rozdíl signálu objektu). Je to v podstatě rozdíl odečtu určité hodnoty od existující absolutní hodnoty. Standardní odchylka 2.5 při 25 °C je to samé jako standardní odchylka 2.5 při 50 °C. V takovém případě se používají jednotky DeltaCelsius (dC), DeltaFahrenheit (dF), DeltaKelvin (dK) a DeltaObjectSignal (dOS). [2]

1.3.8 Snímání teplotních polí

Systémy pro bezdotykové měření a plošné zobrazení teplotních polí lze rozdělit na systémy bez rozkladu a s rozkladem obrazu. Systémy založené na přímé konverzi zářivého toku na obraz jsou vakuové fotodiody, u nichž se tepelný obraz vytvoří optikou na fotokatodě. Ozáření fotokatomy způsobí fotoemisi elektronů, jejichž tok je zesílen fotonásobičem a dále pomocí elektrického pole usměrněn na luminiscenční stínítko, kde se vytvoří odpovídající viditelný obraz. V popisovaném systému je v současné době používána mikrokanaťová destička MCP (Microchanell Plate), která za fotonásobičem nebo i bez něj zesiluje tok elektronů na principu velkého počtu paralelních fotonásobičů realizovaných v jednotlivých mikrokanaťcích. Kanálky jsou připojené na zdroj vysokého napětí (VN) tak, aby vektor intenzity elektrického pole měl axiální směr. Emitované elektrony jsou v kanálcích urychlovány, přičemž na vnitřní odporové vrstvě dochází k odrazům s následnou sekundární emisí. Urychlené a znásobené elektrony dopadají na výstupní stínítko multianody a odtud je viditelný obraz přiveden přes optiku na CCD (Charge Coupled Devices) čip, používaný v digitálních fotoaparátech nebo kamerách.

Termovizní systémy se dělí na:

- termovizní systémy s opticko-mechanickým rozkladem obrazu,

- termovizní systémy s maticovým detektorem.

Opticko-mechanický rozklad obrazu se realizuje snímáním jednotlivých bodů objektu řízenou optickou osou. Okamžité zorné pole termovize se postupně zaměřuje na všechny body (plošky) měřeného objektu. Dráha rozkladu se provádí pohyblivými optickými částmi kamery (otočné hranoly nebo zrcadla). Vzhledem k tomu, že výroba těchto systému pro civilní účely skončila, nebude opticko-mechanický princip podrobněji popisován. Pro termovizní kamery se nyní používají chlazené a nechlazené maticové mikrobolometrické a kvantové (QWIP) FPA detektory (1D-řádkové a 2D-plošné). Programové vybavení dodávané k termovizním umožňuje kromě základního nastavení parametrů různé způsoby zpracování signálu jako je vykreslení teplotního profilu v libovolném místě obrazu, vyhodnocení teploty v libovolném místě na obraze, barevné zobrazení izoterm, nastavení různých hodnot emisivity zobrazeném objektu, změna barevné palety aj. [2]

V termovizní technice se používají dvě hlavní pásma vlnových délek, a to krátkovlnné (2 μm až 5 μm) a dlouhovlnné (7 μm až 13 μm). Prostřednictvím amplitudového diskriminátoru videosignálu lze u termovize nastavit pro libovolné rozmezí teplot libovolnou barvu nebo alespoň zvolit některou z volitelných barevných palet. Je nutno si uvědomit, že termovize pracuje v neviditelném spektru záření, kde žádné barvy neexistují, takže přiřazení barev je umělé.

Termovize měří bezkontaktně (tj. pyrometricky) povrchovou teplotu těles s vysokou přesností v mnoha bodech současně a z bodů rekonstruuje teplotní pole, které převádí na viditelný obraz se znázorněnou teplotní stupnicí. Termovize umožňuje zjišťovat malé teplotní rozdíly mezi jednotlivými body obrazu a dovede rychle rozeznat teplotní rozdíly v čase. [3], [4]

Termovize je základním měřicím zařízením pro infračervenou diagnostiku. Na základě znalosti rozložení teplotního pole diagnostikovaného objektu lze kontrolovat funkce zařízení, jejichž činnost je spojena s vývinem nebo absorpcí tepla. Lze tak lokalizovat různé materiálové vady, opotřebení způsobené třením a jiné takové defekty vnitřních dílů objektu, které ovlivňují rozložení povrchové teploty. V energetice je možné např. diagnostikovat pod vysokým napětím za provozu izolační stavy izolátorů, spojovacích svorek kontaktů, stavy vypínačů aj. Existují dvě metody, které umožňují diagnostikovat i defekty uvnitř materiálu:

- **Pulzní termografie**, která je založena na ozařování diagnostikovaného objektu z externího zářiče tepelnými stimulačními pulzy a následném snímání teploty povrchu objektu termovizní kamerou. Tepelné pulzy trvají od několika milisekund u materiálů s velkou tepelnou vodivostí až do několika sekund u málo tepelně vodivých vrstev jako jsou plasty, lamináty aj. Krátce trvajícím oteplením o několik stupňů nezpůsobí poškození objektu. Po dopadu tepelného pulzu na povrch materiálu se teplo šíří tepelnou difúzí materiálem. Tepelná difuze (rozptýlení tepelného záření v tělese) závisí na tepelné vodivosti, hustotě a měrné tepelné kapacitě materiálu. Teplota uvnitř materiálu se zvýší a po ukončení tepelného pulzu se vnitřek materiálu opět difúzí ochlazuje. Pokud je v materiálu nehomogenita s rozdílnou měrnou tepelnou kapacitou a tepelnou vodivostí, promítne se defekt v určitém časovém okamžiku na tepelném obrazu povrchu objektu. Ohřev lze realizovat také horkým vzduchem. Metoda pulzní termografie se používá např. při termografii u leteckých vrtulí z kompozitních materiálů.
- **Lock-in termografie** je založena na modulaci tepelného toku. Tepelná vlna (obvykle sinusová s úlovým kmitočtem) proniká do dopadu na povrch tělesa dovnitř a odrazí se v místě změny prostředí (defektu) zpět k povrchu. Na povrchu pak dochází k interferencím s primárním vlněním. Termovizní kamerou snímané obrazce jsou číselnicově zpracovány Fourierovou rychlou transformací (FFT), takže lze z každého pixelu stanovit amplitudu a fázový posun. Amplituda signálu je ovlivněna pohltivostí, emisivitou povrchu tělesa s rozložením ozáření. Avšak ve fázi signálu jsou tyto jevy vyloučeny a projeví se pouze informace o teplotě jak těsně pod povrchem tak i do určité hloubky v materiálu. Diagnostikovaná hloubka je dána tzv. hloubkou vniku tepelného vlnění μ , při níž je poměrný pokles amplitudy daný násobkem $1/e=0,37$. [2], [20]

1.4 Bezdotykové měření teploty

Bezdotykové měření teploty (také označované jako infračervená pyrometrie) je měření povrchové teploty těles na základě vysílaného elektromagnetického záření tělesem a přijímaného senzorem (detektorem) záření vlnové délky od $0,4 \mu\text{m}$ do $25 \mu\text{m}$. Tento rozsah pokrývá oblast viditelného spektra od $0,4 \mu\text{m}$ do $0,78 \mu\text{m}$, oblast blízkého infračerveného spektra od $0,78 \mu\text{m}$ do $1 \mu\text{m}$, oblast krátkovlnného infračerveného spektra od $2 \mu\text{m}$ do $3 \mu\text{m}$, oblast středovlnného infračerveného spektra od $3 \mu\text{m}$ do $5 \mu\text{m}$ a konečně oblast dlouhovlnného infračerveného spektra od $5 \mu\text{m}$ do $25 \mu\text{m}$.

Elektromagnetické záření s vlnovou délkou od 2 μm do 25 μm se označuje jako tepelné záření. Uvedené rozsahy pokrývají měření teplot v rozsahu od -40°C do $+10000^{\circ}\text{C}$.

1.4.1 Princip bezdotykového měření

Celý princip bezdotykového měření teploty je obecně založen na fyzikálním principu vyzařování infračerveného záření zahřátého objektu. Toto záření je pak zachyceno senzorem (pyrometrem), dnes již vyráběny integrovanou technologií. Senzor ho převede na elektricky měřitelnou veličinu, kterou další zařízení již zpracují. Vlnová délka záření je určována teplotou tělesa. Jeho příčinou je vnitřní mechanický pohyb molekul, jehož intenzita závisí právě na teplotě objektu. Protože pohyb molekul představuje přemísťování náboje, je vyzařováno elektromagnetickým záření (fotonové částice). Ideální vyzařování pak má tzv. úplně černé těleso (black body). Mnoho těles však emituje při stejné teplotě méně energie. Vztah mezi skutečnou vyzařovanou energií a energií vyzařovanou černým tělesem stejné teploty je znám jako emisivita (epsilon). Emisivita je tedy mírou schopnosti daného předmětu vyzařovat infračervenou energii. [2], [4]

1.5 Teplota

Teplota je skalární fyzikální veličina a popisuje termodynamický stav hmoty. Z historických důvodů obvyklé teplotní stupnice vycházejí z vedlejších snadno pozorovatelných projevů hmoty (jako je roztažnost, změna elektrické vodivosti, změna elektrického potenciálu) a z prakticky realizovatelných referenčních bodů (změna skupenství). Teplota je stavová veličina určující stav termodynamické rovnováhy, tj. stav, kdy v izolované soustavě těles od okolního prostředí neprobíhají žádné makroskopické změny a všechny fyzikální veličiny, jimiž je stav soustavy popsán nezávisí na čase. Stav termodynamické rovnováhy bývá charakterizován termodynamickou teplotou, která musí být stejná pro všechny části izolované soustavy.

Teplota je jedna z mála veličin, která se nedá měřit přímo, ale pouze prostřednictvím jiných fyzikálních veličin. Měření teploty je tedy měření nepřímé. Znalost rozložení teploty ve vzorku je základem měření termofyzikálních veličin jako je tepelná vodivost, teplotní vodivost, měrné teplo apod., které charakterizují tepelné vlastnosti materiálů.

Teplota je fyzikální veličina popisující teplotní stav systému a je možné ji definovat jako míru kinetické energie pohybujících se molekul. Teplota, při které dochází k zastavení pohybu molekul, se nazývá absolutní nulová teplota T_0 [K] a tvoří mezní teplotu takzvané termodynamické stupnice, tedy $T_0 = 0$ K. Kromě termodynamické stupnice se používá i stupnice Celsiova s teplotou t [°C], případně stupnice Fahrenheitova s teplotou t [°F]. Převod mezi Celsiovou, termodynamickou a Fahrenheitovou teplotou umožňují vztahy:

$$t [^{\circ}\text{C}] = T [\text{K}] - 273,15$$

$$t [^{\circ}\text{C}] = \frac{5}{9} t [^{\circ}\text{F}] - 32.$$

Měření teploty převádíme nepřímo pomocí teploměrů, přičemž se využívají změny pozorovatelné vlastnosti určité teplotní závislé látky teploměru. [15], [16], [20]

1.5.1 Snímač teploty

Snímač (senzor) je prvek pro sběr informací. Jeho vnitřní částí je čidlo, které převádí vstupní neelektrický signál od měřeného objektu na signál výstupní – elektrický, mechanický, světelný apod. Blok pro úpravu signálu slouží na úpravu signálu vystupujícího ze snímače na potřebný tvar pro výstupní zařízení. V případě, že tento signál je elektrický, tento blok může obsahovat zesilovače, generátory, filtry apod.

Indikátor zpracovává upravený signál a vyhodnocuje ho. Údaj indikátoru o velikosti měřené veličiny může být analogový nebo číslicový. Paralelně s indikátorem je zapojená paměť, která zajišťuje uchování informací po určitou dobu. Bývá realizovaná různými druhy zapisovačů a pamětí.

Snímače teploty je možné rozdělit podle způsobu měření teploty a fyzikálního principu rozdělit na:

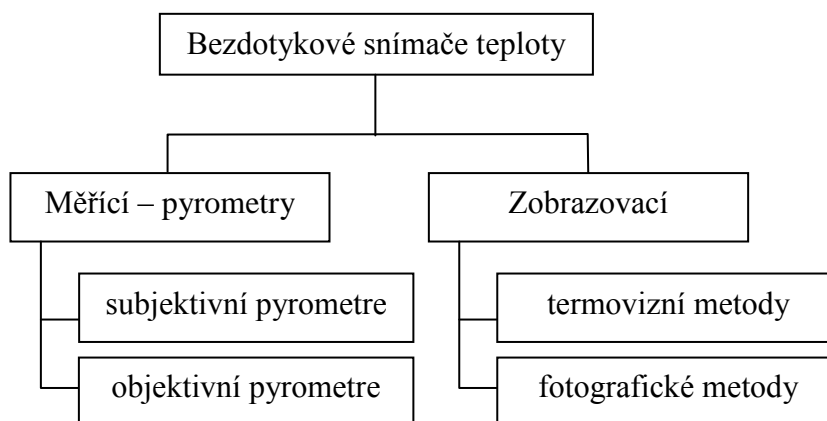
DOTYKOVÉ

- dilatační (využívají teplotní roztažnost látek)
- termoelektrické (termoelektrický jev)
- odporové (teplotně závislý odpor vodičů a polovodičů)
- rezonanční (teplotně závislý rezonanční kmitočet krystalu)

- speciálně (teplotně závislý index lomu kapalných krystalů, bod topení, luminiscence a změna barvy apod.)

BEZDOTYKOVÉ

- pyrometry a zobrazovací metody (teplotní závislost tepelného záření – termoelektrický jev, odpor polovodičů, pyroelektrický jev)



Obr. č. 1 Rozdělení bezdotykových snímačů teploty [15]

Při měření teploty pomocí kontaktních teploměrů (rtuťových, termočlánekových, odporových, polovodičových, bimetalových, apod.) se ve skutečnosti zjišťuje teplota ustáleného stavu termodynamické soustavy tvořené měřeným objektem a tělesem teploměru. Termodynamická soustava tvořená měřeným objektem a kontaktním teploměrem některého typu nemůže být označena jako uzavřená termodynamická soustava a z principu zanáší do měření teploty systémovou chybu mimo jiné z důvodu časové prodlevy do dosažení ustáleného stavu. Měření teploty kontaktním teploměrem navíc vyžaduje splnění mnoha vnějších podmínek při měření.

Termovizní měření a každé pyrometrické měření zjišťuje teplotu jako okamžité vyzařování hmoty v infračerveném spektru. Vychází ze statistické fyziky a z praktické aplikace principů kvantové fyziky. Významnou výhodou je, že nedochází k ovlivnění naměřené hodnoty hmotou teploměru. Měření teploty se posouvá od pozorování vedlejších projevů hmoty k přímému pozorování kinematiky subatomární struktury hmoty a detekování toku energetických kvant.

Při mnoha fyzikálních a biologických experimentech nastává požadavek zjišťovat okamžitou teplotu a teplotu v jednotlivých bodech měřeného objektu. Nestáčí jen

teplota při ustáleném stavu termodynamické (makro-) soustavy tvořené měřeným objektem a kontaktním teploměrem.

Na rozdíl od konvenčních způsobů měření teploty termovize poskytuje velký teplotní rozsah stupnice, jaký nelze dosáhnout pomocí žádného kontaktního teploměru. Nejvýznamnější předností je měření teploty současně v celém rastru zorného pole kamery. [4], [2], [14], [20]

2 Oděvní komfort

Stav organismu, kdy jsou fyziologické funkce organismu v optimu, a kdy okolí včetně oděvu nevytváří žádné nepříjemné vjemy vnímané našimi smysly. Vnímáme ho jako pocit pohody. Při diskomfortu mohou nastat nepříjemné pocity tepla nebo chladu. Pocity tepla se dostavují při zvětšeném pracovním zatížení nebo při působení teplého a vlhkého klimatu. Pocity chladu se dostavují především jako reakce na nízkou teplotu klimatu nebo nízké pracovní zatížení.

Komfort dělíme:

- psychologický
- senzorický
- termofyziologický

Psychologický komfort oděvů

Klimatická hlediska – oděvy, a to především pracovní nebo sportovní, by mělo v první řadě respektovat tepelně – klimatické podmínky, které jsou podmíněny geograficky.

Oděv vhodný pro dané podmínky se stává normou.

Sociální hlediska – mezi tyto hlediska patří věk, vzdělání a kvalifikace, sociální třída, postavení nebo pozice v této třídě. Psychologický komfort vysokého postavení v příslušné třídě představovaný odlišným oděvem může kompenzovat nízkou úroveň komfortu termofyziologického.

Senzorický komfort oděvů

Senzorický komfort zahrnuje vjemy a pocity člověka při přímém styku pokožky a první vrstvy oděvu. Pocity vnímané při styku pokožky s textilií. Tyto pocity mohou být příjemné nebo nepříjemné. Mezi příjemné řadíme měkkost a splývavost. Mezi nepříjemné řadíme škrábání, kousání, pocit vlhka apod.

Do senzorického komfortu řadíme také omak. Omak lze charakterizovat vlastnostmi jako je hladkost, tuhost, objemnost a tepelně-kontaktní vjem. Hodnocení omaku se provádí pomocí subjektivního hodnocení. [8]

Termofyziologický komfort

Stav lidského organismu, v němž jsou termofyziologické funkce v optimu.

Tento stav je subjektivně vnímán jako teplotní pohodlí. Termofyziologický komfort textilií lze charakterizovat pomocí dvou základních parametrů: tepelného a výparného odporu. Výparný odpor charakterizuje tepelné účinky vnímané pokožkou vznikající v důsledku odparu potu. Zde rozlišujeme celkový výparný odpor oděvu a výparný odpor vrstvy vnějšího přilehlého vzduchu, tzv. mezní vrstvy. Celkový tepelný odpor oděvu se sestává z odporu vlastního oděvu a tepelného odporu mezní vrstvy. Záleží tedy na tzv. vlhkostním gradientu. [8]

Termofyziologický komfort nastává za optimálních podmínek:

- teplota pokožky $33 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$
- relativní vlhkost vzduchu $50 \pm 10\%$
- rychlost proudění vzduchu $25 \pm 10\text{ cm.s}^{-1}$
- obsah CO_2 $0,07\%$
- nepřítomnost vody na pokožce

Při zvýšené fyzické námaze tělo reguluje svoji vnitřní teplotu zvýšeným pocením. Při použití klasických přírodních materiálů (bavlna, viskóza, vlna), které jsou nasákavé a vlhkost vážou přímo ve vláknech, se pot hromadí zejména v prádle. V následné klidové fázi se dostaví pocit vlhka, prádlo začne studit a to je nejen nepříjemné z hlediska zhoršení oděvního komfortu a psychické pohody, ale nese to s sebou i riziko prochlazení.

Při použití oděvu z funkčních textilních materiálů se vlhkost od pokožky postupně odvádí. Aby systém fungoval, musí odvod potu od pokožky zabezpečovat všechny vrstvy oblečení. Nejrychlejší odvod vlhkosti musí samozřejmě zajistit materiál spodního prádla. [8]



Obr. č. 5 Systém funkčního oblečení

Vrstva 1 – termo prádlo a ponožky

Vrstva 2 – zimní termo prádlo nebo mikina z fleece (tepelná izolace udržuje tělesnou teplotu)

Vrstva 3 – svrchní oděv (bunda z paropropustného materiálu) – ochrana proti vnějším vlivům

Textilie schopné odvádět vlhkost od pokožky do dalších oděvních vrstev

Jako materiál pro funkční spodní prádlo a ponožky se nejčastěji používají úplety z vláken s velmi nízkou nasákavostí – polypropylen nebo vhodné modifikace polyesteru. Transport vlhkosti do dalších oděvních vrstev je umožněn tzv. knotovým efektem, kdy vlhkost „putuje“ díky povrchovým vlastnostem vlákna od zdroje dál. Svoji roli zde hrají různé fyzikální vlivy – povrchové napětí, kapilární síly, rozdíl mezi relativní vlhkostí pod oděvem a ve vnějším prostředí, dále pak i konstrukce příze a úpletu. Prádlo musí dobře přiléhat k tělu, jen v tom případě je jeho funkce plně zajištěna. Výhodou těchto typů úpletů je i to, že po praní velmi rychle schnou. [8]

2.1 Termoregulace

Termoregulací nazýváme schopnost organismu udržovat stálou tělesnou teplotu, přestože produkce tepla, jeho příjem i ztráty nepřetržitě kolísají. Organismus člověka představuje samoregulační systém, jehož fyziologický mechanismus je zaměřen na zajišťování rovnováhy mezi množstvím vytvořeného tepla a množstvím tepla odevzdávaného do okolního prostředí, a tím i zachování stálé tělesné teploty. Jestliže dojde k narušení tepelné rovnováhy, teplo se buď hromadí v organismu člověka, nebo rychle uniká, a tím se mění průměrná tělesná teplota. [4]

2.1.1 Tělesná teplota

Podle změn teploty prostředí se vždy vytváří určitý teplotní spád mezi vnitřkem organismu a jeho povrchem. Rozeznáváme tedy teplotu tělesného jádra a teplotu povrchu těla. Teplotou jádra se rozumí teplota vnitřních orgánů a tkání. Za normálních podmínek okolního prostředí a při ustálené dynamické rovnováze pochodů sdílení a

vytváření tepla kolísá tělesná teplota podle v rozmezí $\pm 0,1$ °C. Při teplotě okolí 20 °C je vnitřní teplota 36,8 °C, v podkoží 35,6 °C a v kůži 35,2 °C.

Teplota kůže také kolísá v určitých mezích podle konstituce jednotlivce. Otlíci mají vnitřní teplotu vyšší asi o 0,2 - 0,3 °C než hubení. Spád teploty směřuje z vnitra k povrchu a teplo je zadržováno u otlých tukovou vrstvou. Teplota není v průběhu dne stejná. Nejnižší teplotu naměříme ve spánku, o málo vyšší ve stavu bdělosti při celkovém klidu a stoupá adekvátně s činností organismu. U bdělého člověka v klidu naměříme nejnižší teplotu mezi 5 - 6 hodinou ranní a nejvyšší mezi 16 - 18 hodinou. Ženy navíc mají měsíční cyklus teplotních změn, charakterizovaný zvýšením bazální teploty při ovulaci o 0,5 °C. Změny tepelného stavu umožňují rozeznávat smysly tepelný a chladový. Citlivost těchto smyslů není dokonalá, neboť reflexy termoregulační vycházejí z pocitů vnímaných na povrchu. [14], [4]

2.1.2 Teplota kůže

Teplota kůže a její topografie může sloužit jako ukazatel tepelného stavu organismu. Hodnoty teploty kůže odpovídající různým subjektivním tepelným pocitům člověka ve stavu fyzického klidu uvádí tabulka.

Tabulka č. 1 Teplota kůže a tepelné pocity ve stavu relativního fyzického klidu [14]

Tepelné pocity	velmi horko	horko	teplo	pohoda	chladno	zima	velká zima
teplota kůže (°C)	nad 36,0	36,0±0,6	34,9±0,7	33,2±1,0	31,1 ±1,0	29,1±1,0	pod 28,1

Teplota kůže, zejména je-li člověk ve stavu tepelné pohody se značně liší podle různých částí povrchu těla. Tyto rozdíly jsou dány zvláštnostmi systému krevního oběhu. Topografii teploty kůže ovlivňují: oděv, stupeň celkového ochlazení a přehřátí, druh fyzické práce, pohlaví atd. [14]

Tabulka č. 2 Povrchová teplota kůže člověka [1]

Okolní teplota	Chodidlo	Bérec	Stehno	Břicho	Záda	Hrud'	Rameno	Předloktí	Ruka	čelo	Střední hodnota
15	17,4 ±2,4	22,3 ±1,8	23,2 ±2,2	29,1 ±2,3	30,1 ±2,4	29,9 ±2,2	26,2 ± 1,3	27,0 ± 2,0	19,7 ± 2,7	29,7 ± 2,1	25,7 ± 1,2
20	21,7 ±0,9	25,8 ±1,0	27,9 ±1,5	30,7 ±1,7	31,3 ±1,1	31,9 ±1,1	28,0 ±0,8	27,7 ± 0,7	24,0 ± 1,3	32,9 ± 0,9	28,2 ± 0,8
25	27,1 ±0,8	28,9 ±1,0	30,5 ±1,1	33,5 ±0,4	32,7 ±1,5	32,8 ±0,9	30,8 ±2,0	30,3 ± 1,3	25,4 ± 2,1	33,9 ± 0,4	30,6 ± 0,9
30	31,6 ±1,0	32,7 ±0,7	33,4 ±0,6	34,7 ±0,8	34,4 ±0,8	34,5 ±0,8	33,4 ±0,8	33,6 ± 1,6	32,9 ± 0,9	34,8 ± 0,7	33,4 ± 0,5
35	35,5 ±0,3	35,3 ±0,2	35,0 ±0,4	35,1 ±0,6	35,4 ±0,4	35,9 ±0,3	36,0 ±0,2	35,7 ± 0,3	35,8 ± 0,2	35,8 ± 0,6	35,7 ± 0,2

Rozsah kolísání povrchové teploty kůže člověka je i při jeho homoiotermii značný (až cca 12,7°C) [1]

Při zvýšeném uvolňování tepla v organismu nebo při přehřátí těla vlivem vnějšího tepla mechanismus termoregulace napomáhá zvětšení přestupu tepla. Tepelná regulace, která zajišťuje zvýšení produkce tepla v organismu, se nazývá chemická. Naopak fyzikální tepelná regulace je ta, která je zaměřena na zmenšení nebo zvětšení přestupu tepla do okolního prostředí. Chemická tepelná regulace se při ochlazení uskutečňuje převážně zvýšením svalového napětí a chvění, které vedou k další, přídavné tvorbě tepla v organismu. Fyzikální tepelná regulace se uskutečňuje rozšiřováním a zužováním cév v pokožce. V prvním případě se sdílení tepla do okolí zvětšuje, protože stoupá tepelná vodivost tkání organismu, teplota pokožky i tepelný spád a zvětšuje se odpařování vody. V druhém případě se sdílení tepla snižuje, protože tepelná vodivost tkání i tepelný spád klesají. K udržování stálé tělesné teploty podle je nutné, aby byl celý systém v tepelně ustáleném stavu. Tepelné rovnováhy se dosahuje koordinací pochodů zaměřených na tvorbu tepla v organismu (produkci tepla) a na jeho odvod (přestup tepla). [14], [4], [5], [1]

Obecně je možno tepelnou rovnováhu (pohodu) člověka vyjádřit podle rovnici:

$$Q_{tt} + Q_{tz} = Q_s + Q_{pr} + Q_{ved} + Q_{od} + Q_{odc} + Q_{op} + Q_{ov} \pm AQ$$

kde Q_{tt} je tvorba tepla v organismu (J)

Q_{tz} vnější tepelné zatížení, např. slunečním zářením (J)

Q_s tepelné ztráty sáláním (J)

Q_{pr} tepelné ztráty prouděním (J)

Q_{ved} tepelné ztráty vedením (J)

Q_{od} tepelné ztráty v důsledku odpařování difúzní vlhkosti s povrchu pokožky (J)

Q_{odc} tepelné ztráty v důsledku odpařování vlhkosti z horních cest dýchacích (J)

Q_{op} tepelné ztráty odpařování potu (J)

Q_{ov} tepelné ztráty na ohřev vydechovaného vzduchu (J)

AQ změna tepelného stavu organismu proti stavu tepelné pohody - deficit tepla (J)

Všechny složky rovnice tepelné rovnováhy jsou uvedeny za jednotkový čas t (s)

$$J s^{-1} = W$$

2.2 Způsoby měření termofyziologického komfortu

Termofyziologický komfort lze hodnotit řadou přístrojů a metod, mezi ně patří např.: gravimetrická metoda. Od této metody se upouští, jelikož je nepřesná. Druhým způsobem je metoda DREO a další je SKIN MODEL, který lze provádět za stabilních i nestabilních podmínek. Posledním způsobem je stanovení termofyziologického komfortu pomocí přístroje PERMETEST. Tato metoda je jedinou nedestruktivní metodou měření termofyziologického komfortu.

2.2.1 Gravimetrická metoda

Měření touto metodou spočívá v upevnění kruhového vzorku textilie na misku obsahující silikagel, zvážení misky se vzorkem před expozicí v klimatizační skříni, zvážení po 6 -ti hodinové expozici (po uplynutí doby) a výpočtu relativní paropropustnosti. Nevýhodou této metody je její zdlouhavost a nízká přesnost, která je dána časově nelineární sorpcí vysoušedla. [8]

2.2.2 Metoda DREO

Při hodnocení termofyziologického komfortu metodou DREO je vzorek upevněn na podložku mezi dvě polopropustné vrstvy. Tato metoda vypočítává relativní paropropustnost textilií. Pod spodní vrstvou je umístěna voda a skrz horní vrstvu proudí suchý vzduch. Spodní vrstva chrání a odděluje vzorek od vodní hladiny a vrchní vrstva před průnikem vzduchu. Ztráta vody zde není určována vážením, ale je odečítána na stupnici skleněné kapiláry. Měření se provádí po dobu 15 minut. [8]

2.2.3 SKIN-model

Základem této metody hodnocení termofyziologického komfortu je vyhřívání a zavlhčování porézní deska označovaná jako „model kůže“ sloužící k simulaci procesů přenosu tepla a hmoty, ke kterým dochází mezi lidskou pokožkou a okolím. Měření zahrnující jeden nebo oba přenosy. Přenosy se mohou provádět buď separátně, nebo při měnících se vnějších podmínkách, zahrnující kombinaci různých teplot, relativní vlhkosti a rychlosti proudění vzduchu. Naměřené hodnoty mohou odpovídat rozdílným ustáleným i proměnlivým okolním podmínkám nošení oděvu. [8]

2.2.4 Alambeta

Tento poloautomatický přístroj je schopen měřit jak stacionární, tak dynamické tepelně izolační vlastnosti materiálů (obrázek č. 10). Princip tohoto přístroje spočívá v aplikaci snímače tepelného toku připevněného k povrchu kovového bloku s konstantní teplotou 32 °C, která odpovídá teplotě lidské pokožky. [8]

2.2.5 Přístroj Permetest

Je ve své podstatě tzv. skin model (model lidské pokožky), založený na přímém měření tepelného toku q procházející povrchem tohoto modelu. Povrch modelu je porézní a je zavlhčován, což simuluje potní impuls. Na tento povrch je pak přikládán měřený vzorek přes separační fólii. Postup měření spočívá v tom, že se nejprve měří tepelný tok bez vzorku a následně se vzorkem. Z těchto hodnot je pak následně vypočtena relativní propustnost pro vodní páry. Jeho hlavní výhodou je, že během 2-3 minut se uskuteční spolehlivé testování, aniž by se oděv poškodil.

Relativní paropropustnost se měří v %. Volný povrch pokožky pak představuje 100% propustnost a zcela nepropustný znamená 0%. Hodnotu relativní paropropustnosti získáme podílem tepelného toku se vzorkem q a tepelného toku procházejícího přístrojem bez vzorku q_0 . Výsledná hodnota je násobena 100, pro procentuelní vyjádření.

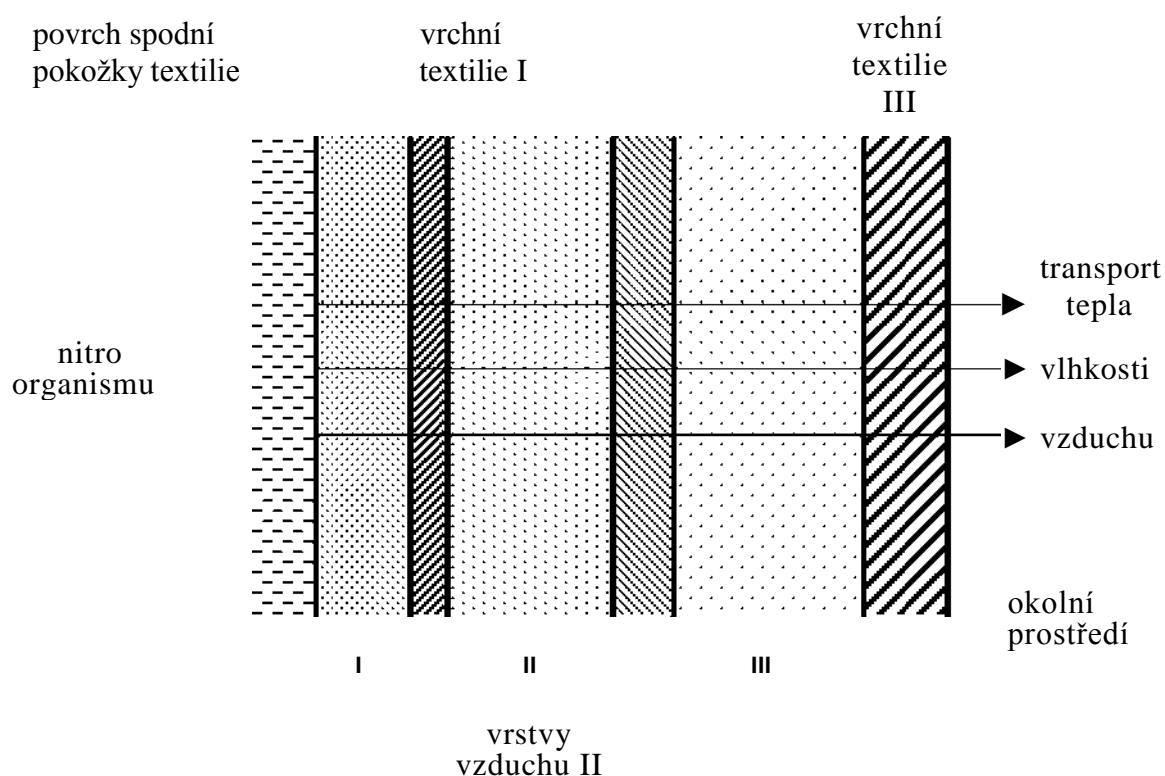
$$p = 100(q / q_0) [\%]$$

Výparný odpor, který u měření simuluje reálné přenosové jevy při nošení oděvu, přímo charakterizuje tepelné účinky vnímané pokožkou vznikající v důsledku odparu potu. Zde je pak nutno rozlišovat celkový výparný odpor oděvu a výparný odpor vrstvy vnějšího přilehlého vzduchu, tzv. mezní vrstvy. [8]

3 Transport vlhkosti

Oděvní systém zahrnuje nitro organismu jako zdroj tepla a vlhkosti, povrch pokožky, jednu až tři oděvní mezivrstvy, oděvní mikroklima vytvořené oděvem kolem těla. Každá oděvní mezivrstva je jako elementární jednotka oděvního systému složena z vrstvy vzduchu, vrstvy textilie a z vrstvy vzduchu uzavřeného v textili. Tyto tři vrstvy nelze uvažovat nezávisle na sobě, jelikož se všechny účastní transportu tepla, vlhkosti a vzduchu. Stav a fyzikální vlastnosti jedné vrstvy ovlivňují stav a fyzikální vlastnosti vrstvy druhé, resp. třetí a opačně. [8]

Obr. č. 6 Schéma oděvního systému



3.1 Přenos tepla a vlhkosti v textiliích

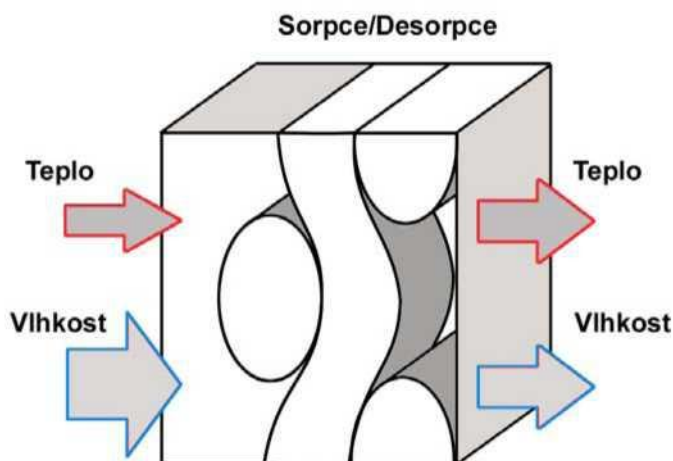
Chování oděvů při přenosu tepla a vlhkosti je již dlouho známo jako velmi důležité pro lidské přežití. V tomto odvětví byla vykonána velká práce. V roce 1970 Fournier a Hollies provedli podrobnou rešerši literatury zahrnující oděvní komfort a jeho funkci se speciálním zaměřením na tepelný komfort. O sedm let později předložil Slater rozsáhlý přehled vlastností komfortu u textilií, zahrnující měření jejich tepelné rezistence (odporu), odvod vodních par, odvod kapalné vlhkosti a propustnost vzduchu. Hollies a Goldman (1977) udělali přehled kritérií v hodnocení vlastností tepelného komfortu oděvů. [8]

3.1.1 Dynamické teplo a vlhkost transportovaná v textiliích

Společný přenos tepla a vlhkosti v textiliích byly uznány jako velmi důležité pro pochopení dynamického tepelného komfortu při nošení. V roce 1939 Henry navrhl mechanismus přechodů difúze vlhkosti a tepla do textilních vláken a dále popsal model tohoto přechodu v roce 1948 V tomto modelu Henry vyvinul systém diferenciálních rovnic k popisu těchto procesů. Dvě z rovnic zahrnují zákony zachování hmoty a energie. Třetí rovnice popisuje obsah vlhkosti ve vláknech do přiléhající vrstvy vzduchu.

Pro zjednodušení matematických procesů byly navrženy tyto předpoklady:

1. Objemové změny vláken závisící na obsahu vlhkosti - mohou být zanedbány.
2. Vlhkostní přenos vláken může být zanedbán stejně jako koeficient difúze vody vláken, v porovnání se vzduchem procházejícím vlákeny.
3. Orientace vláken v textiliích hraje minimální roli v procesu přenosu vodních par, protože průměry vláken jsou malé a vodní páry mohou pronikat snadněji vzduchem než vlákeny.
4. Okamžitá tepelná rovnováha mezi vlákeny a vzduchem v mezivlákněm prostoru je dosažena během procesu, protože většina textilních vláken má malý průměr a velký povrch. [8].



Obr. č. 7 Přenos tepla a vlhkosti v textilií

3.2 Odvody vlhkosti z povrchu lidského organismu

Předpokladem je, aby okolní prostředí bylo schopno toto množství vodní páry přijmout, tj. aby rozdíl parciálních tlaků určujících rychlost odvodu vlhkosti byl co nejvyšší. Pokud se tento rozdíl snižuje, odvod vlhkosti klesá a ochlazovací účinek mizí. To vše se ale děje za předpokladu neoblečeného organismu. U oblečeného organismu je situace složitější, tento systém pracuje na jiném principu a vlhkost je odváděna několika způsoby:

3.2.1 Kapilární odvod potu

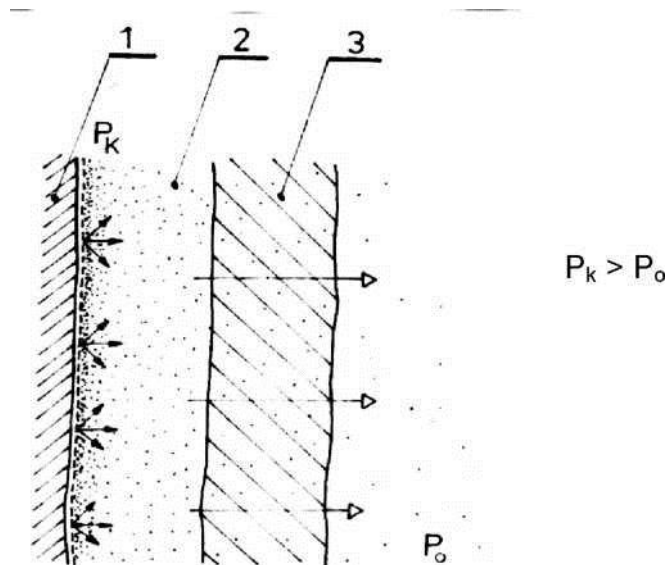
Tento způsob spočívá v tom, že pot v kapalném stavu je odsáván první textilní vrstvou a jejími kapilárními cestami vzlíná do její plochy všemi směry nebo je přenášen do dalších vrstev (pak se jedná o tzv. knotový efekt). Kapilární odvod je dále závislý zejména na smáčecí schopnosti této textilie a vláken, na povrchovém napětí vláken a potu. [4], [14]

3.2.2 Migrační způsob odvodu potu

Oděv se nachází ve většině případů v teplotním spádu mezi teplotou povrchu těla, resp. mikroklima a okolím. Za těchto podmínek pak může dojít ke kondenzaci vlhkosti na povrchu vláken. Tato voda je buďto odvedena do kapilárních prostor nebo migruje na povrchu vláken. K migraci však dochází zároveň u vody, která byla do textilie dopravena kapilaritou, tedy vodou kapalnou. [4], [14]

3.2.3 Difúzní odvod vlhkosti

Difúzní prostup vlhkosti z povrchu kůže přes textilii je realizován prostřednictvím pórů, jež se svou velikostí a křivolakostí zúčastňují na kapilárním odvodu. [4], [14]



Obr. č. 8 Difúzní odvod potu z povrchu pokožky lidského těla: 1 - pokožka, 2 - textilní vrstva, 3 - kapalný pot

3.2.4 Sorpční odvod vlhkosti

Tento proces předpokládá vnik vlhkosti nebo potu do neuspořádaných mezimolekulárních oblastí a následné navázání na hydrofilní skupiny v molekulové struktuře. Způsob sorpčního odvodu vlhkosti předpokládá, aby textilie byla alespoň částečně vyrobena ze sorpčních vláken.

Nejrychlejší z těchto čtyř výše uvedených způsobů je kapilární odvod, dále pak je migrační a difúzní a nejpomalejší je způsob sorpční. Pro zajištění oděvního komfortu je nejvýhodnější kombinace difúzního a sorpčního způsobu. [4], [14]

3.3 Hydromechanické vlastnosti textilních materiálů

Při sdílení tepla mezi člověkem a vnějším prostředím má mimořádně důležitou úlohu přestup tepla odpařováním potu s povrchu těla. Při tomto ději stoupá vlhkost vzduchu pod oděvem, oděv vlhne a narušuje stav pohody. Úroveň přestupu tepla vypařováním značně závisí na hydromechanických vlastnostech materiálů: na navlhavosti, vzlínavosti, nasákavosti, propustnosti pro páry a vodu. Soubor těchto vlastností

umožňuje regulovat oděvní mikroklima a v souvislosti s ním i podmiňuje subjektivní pocity uživatele, protože úroveň přestupu tepla odpařováním značně závisí na těchto hydroskopických vlastnostech materiálů.[4], [14]

3.3.1 Hydroskopičnost

Hydroskopičnost je schopnost materiálů pohlcovat vlhkost ze vzduchu. Hydroskopičnost se zjišťuje z poměru hmotnosti vody pohlcené materiálem při určité teplotě a tlaku a relativní vlhkosti vzduchu k hmotnosti materiálu suchého a vyjadřuje se v procentech. Schopnost textilií pohlcovat vodu z ovzduší souvisí se sorpčními vlastnostmi textilních vláken i s jejich speciálními úpravami. Hydroskopičnost textilních materiálů závisí na dostavě, tloušťce a na vlastnostech jejich vláken a značně ovlivňuje rychlost nasakování a vysychání textilie. Můžeme říct, že čím mají textilie větší tloušťku a hustotu, tím pomaleji nasávají i propouští vodu a tím lépe zajišťují stálost vlhkosti a tepla vzduchové vrstvy mezi oděvem a tělem. Rychlé pohlcování vody materiálem totiž vede k rychlé změně mikroklimatu pod oděvem. [4]

Hydroskopičnost je vlastností textilních materiálů, které se využívá na vnitřní vrstvy oděvu. Zde totiž rychlým pohlcováním pomáhá zachovávat příznivé klima pod oděvem. Ovšem z druhého hlediska se zvlhčením oděvu zvyšuje tepelná vodivost textilií, což v důsledku znamená snížení teploty pod oděvem a ochlazení těla. [4], [14]

3.3.2 Vzlínavost

Je to schopnost plošné textilie přijímat vodu, která vniká do plošných textilií působením kapilárních sil. U textilií to znamená schopnost odvádět vodu z prostoru pod oděvem (tzv. mikroklimatu) a je závislá na jejich pórovitosti, tj. na velikosti a tvaru pórů. Tato vlastnost může u některých textilních materiálů doplňovat hydroskopičnost. Je tomu tak, např. u syntetických materiálů z tvarovaných přízí, které nemají dobré sorpční vlastnosti, ale mají dobrou vzlínavost, proto více vyhovují hygienickým požadavkům. Savost se vyjadřuje sací výškou h (cm/30 min). [4], [14]

3.3.3 Smáčivost

Základním předpokladem, aby textilie sála vodu, je smáčivost materiálu vodou. Smáčivost je dána povrchovým napětím, které vzniká na rozhraní textilie, vody a vzduchu. Ukazatelem průběhu smáčení je dotykový úhel. Kapalina, která má vysoké povrchové napětí, tzn. nepatrnou smáčivost utvoří na těžko smáčivém tělese kulatou kapku. Pokud klesá povrchové napětí, tak se kapka více rozšiřuje a dotykový úhel

kapky se zmenšuje. Je-li dotkový úhel $\theta < 90^\circ$, pak nastává smáčení, je-li $\theta > 90^\circ$, projevuje se voduodpudivost. [4], [14]

3.4 Sorpční vlastnosti

Textilní vlákna jsou schopné za určitých podmínek přijímat do své struktury určité množství plynů, par, kapalin nebo roztoků. Kvantita, rychlost, mechanismus i druh vazeb mezi sorbentem a sorbovanou látkou, doprovodné jevy a analýza sorpce jsou dány podmínkami sorpce.

Při zohlednění všech popsaných podmínek není možné komplexní vyjádření sorpčních vlastností. Uvedené ukázky se řeší parciálně podle účelu zkoumání sorpce a jejích vlastností. Sorpce a sorpční vlastnosti textilních vláken je možné hodnotit z následujících hledisek [4] :

- Faktory podmiňující sorpci vláken,
- mechanismus sorpce
- kinematika sorpce,
- spřízněné jevy při sorpci,
- vliv struktury na sorpci,
- stanovení sorpce

3.4.1 Faktory podmiňující sorpci

Základním předpokladem pro uskutečnění sorpce je přítomnost sorpčních center ve vláknech, která jsou schopna vázat sorpční látky. Podstatou existence center jsou atomy a dostatečně velkou volnou energií. Tyto se nejčastěji nachází na vnitřním a vnějším povrchu vláken. Sorpční centra jsou nejčastěji tvořené funkčními skupinami.

Je-li vlákno obklopeno prostředím, kde se vyskytují molekuly nebo částice jiných látek, dochází k celé řadě procesů. Podle znaménka elektrického náboje vlákna a částic jde o elektrostatické přitahování, resp. odpuzování. Makroskopicky se tyto procesy projevují usazováním na povrchu vláken (adsorpce) nebo pronikáním do vláken (difúze), příp. transportem přes vlákna. Při sledování makroskopických dějů, ke kterým dochází v případech, kdy je vlákno obklopeno molekulami resp. částicemi různého typu jako jsou vodní pára, voda, kapaliny plyny a pevné částice (obecně penetranty) mohou nastat tyto procesy:

- DIFÚZE PENETRANTŮ PROSTŘEDÍM (obvykle vodou nebo vzduchem)
k vláknům

Tento proces je obvykle považován za dostatečně rychlý, takže výrazně obvykle neovlivňuje kinetiku celého děje.

- ADSORPCE NA POVRCHU VLÁKNA, která může být buď fyzikální (nelokalizovaná) nebo chemická (lokalizovaná na vazná místa). V řadě případů je adsorpce zkoumána samostatně, protože penetranty výrazně déle do vláken nepronikají, resp. jejich pronikání závisí na množství penetrantu na povrchu.
- DIFÚZE HMOTOU VLÁKNA, kdy dochází k transportu penetrantů do vláken. V některých případech dochází k zadržování penetrantů na specifických místech ve vlákně a vytvoření vazby s vláknem.
- DESORPCE MOLEKUL PENETRANTU zpět do okolí (resp. v případě, že vlákno tvořilo bariéru mezi dvěma prostředímí přenos penetrantu na druhou stranu bariéry).

V řadě případů je vlákno speciálně s kapalinou pouze v místním styku (např. částečně ponořeno, kapky kapaliny na povrchu atd.). V těchto případech dochází k procesům smáčení, což se projevuje ustavením rovnováhy mezi kapalinou a povrchem vlákna. U vlákněných svazků dochází ke vztlínání kapilárním transportem v pórech mezi vlákny, platí, že:

1. Smáčení - je výsledkem energetických interakcí tří fází, tj. pevné látky, kapaliny a okolního vzduchu (plynné fáze) v rovnováze.
2. Vztlínání – souvisí jak s energetickými poměry mezi jednotlivými fázemi, tak i geometrií vlákněného svazku. [13], [21]

3.4.2 Procesy sorpce – vliv na druh materiálu.

Tyto procesy jsou důležité také z technologického hlediska, protože ovlivňují řadu zušlechťovacích procesů, přípravu kompozitních struktur a procesy tvorby některých textilních struktur (pojených netkanou textilií). Obvykle se považuje za výhodné, pokud jsou vlákna hydrofilní (mají k vodě afinitu) tj. jsou schopné vázat a transportovat vodu. Mezi hydrofilní patří všechna vlákna přírodní a chemická obsahující hydrofilní skupiny.

Procesy sorpce souvisejí obecně se složením vláken, stavem jejich povrchu, přístupností hydrofilních skupin, rozvolnění struktury, distribucí pórů, teplotou, časem a druhem, resp. koncentrací penetrantu. [21]

Propustnost kapalné vody (transport vody)

Propustnost kapalné vody rozumíme jevy, kdy se voda vsazuje na textilii (smáčí povrch), vniká do textilie (nasákavost nebo vzlínavost) a nebo proniká přes textilii (samostatně nebo pod tlakem). [19]

3.5 Moisture management tester

Moisture management tester M290 MMT je přístroj pro sledování a měření vlhkosti. Schopnost tkaniny přenášet vlhkost ve více dimenzích, odborně nazývaná schopnost managementu vlhkosti, má významný vliv na vnímání vlhkosti lidským uživatelem tkaniny. Některé normy a zkušební metody lze využít pro vyhodnocení jednoduché savosti a nasákavosti tkaniny, dobu průniku kapaliny netkanými textiliemi pak lze testovat dle normy ISO 9073-8. Stávající normy nicméně neumožňují změřit parametry dynamického přenosu vlhkosti v tkanině. [22], [25]



Obr. č. 9 Moisture Management Tester

Přístroj Moisture Management Tester (MMT) slouží k měření dynamického šíření vlhkosti v textilních materiálech, např. v pleteninách a tkaninách, ve třech rozměrech:

- Savost - doba pohlcování vlhkosti tkaninou z rubové i lícové strany
- Schopnost jednosměrného přenosu vlhkosti - jednosměrný přenos vlhkosti z rubové na lícovou stranu textilie
- Rychlost šíření / vysychání – rychlost šíření vlhkosti na rubové i lícové straně textilie

3.5.1 Princip činnosti přístroje:

Přístroj Moisture Management Tester (MMT) slouží ke zkoušení vlastností managementu vlhkosti u textilií, např. u tkanin a pletenin. Přístroj se skládá z horních a dolních soustředně umístěných čidel vlhkosti, mezi něž se vkládá testovaná textilie.

Předem stanovené množství zkušební roztoku (syntetický pot) se aplikuje na horní stranu textilie, poté se sleduje šíření roztoku materiálem ve třech směrech:

- Šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na horní straně textilie
- Přenos roztoku tkaninou z horní strany na spodní
- Šíření roztoku směrem k vnějším okrajům na spodní straně textilie

Přístroj MMT je navržen pro sledování, měření a zaznamenávání šíření kapaliny textilií ve více směrech. Z řad naměřených hodnot se následně vypočítá charakteristická schopnost managementu vlhkosti testovaného textilního vzorku. [22], [25]

3.5.2 Parametry hodnocení:

1. Doba navlhčení (s)
WWT (horní strana) a WTB (spodní strana) udávají časový interval mezi počátkem vlhčení tkaniny, tedy počátkem testu, a momentem, kdy vodní sloupec celkového objemu vody na horní i na spodní straně tkaniny překročí hodnotu $Tan(15^\circ)$. Doba navlhčení lze srovnat s hodnotami absorpčního testu.
2. Savost
TAR = savost horní strany tkaniny, BAR = savost spodní strany tkaniny
TAR a BAR vyjadřují průměrnou schopnost tkaniny absorbovat vlhkost z horní i spodní strany za časový úsek provozu čerpadla. Průměrná savost (% / s) je definována: TAR – průměrný vodní sloupec horní za dobu provozu čerpadla, BAR – průměrný vodní sloupec spodní za dobu provozu čerpadla
3. Maximální rádius navlhčení MWR horní a MWR spodní (mm).
Maximální rádie navlhčení jsou definovány jako maximální rádius navlhčeného kruhu na horní i spodní straně textilie, přičemž vodní sloupce celkového objemu jsou vyšší než hodnota $Tan(15^\circ)$ na horní i spodní straně textilie
4. Rychlost šíření roztoku textilií: TSS (horní strana) a BSS (spodní strana)(mm/s)

Rychlost šíření je definována jako kumulativní rychlost šíření roztoku tkaninou od středu po největší rádius navlhčení. R je poloměr kruhu, který se navlhčí v čase T_i

5. Index kumulativního jednosměrného přenosu kapaliny tkaninou R .
 R je definován jako rozdíl kumulativního obsahu vlhkosti mezi dvěma stranami látky.
6. Celkový ukazatel managementu vlhkosti textilie (OMMC).
Tento ukazatel slouží pro vyjádření celkové schopnosti tkaniny rozvádět absorbovanou vlhkost a zahrnuje tři výkonové parametry:
 - Savost spodní stranou textilie: BAR
 - Schopnost jednosměrného přenosu vlhkosti R
 - Rychlost shrnutí spodní strany textilie, kterou představuje kumulativní rychlost šíření: BSS

3.5.3 Sedm hlavních typů textilií

Přístroj MMT dokáže rozlišit sedm hlavních typů textilií. Tyto typy textilií se odlišují rychlostí absorpce roztoku, šíření kapaliny a určují, zda dochází k jednosměrnému přenosu či nikoli. [22], [25]

1. Voděodolné textilie

- velmi pomalá absorpce roztoku
- velmi pomalé šíření kapaliny textilií
- nedochází k jednosměrnému přenosu ani k penetraci

2. Vodu odpuzující textilie

- nedochází k navlhčení textilie
- nedochází k absorpci
- nedochází k šíření roztoku textilií
- slabý jednosměrný přenos bez působení vnějších vlivů

3. Pomalu absorbující a pomalu schnoucí textilie

- pomalá absorpce
- pomalé šíření roztoku textilií
- slabý jednosměrný přenos

4. Rychle absorbující a pomalu schnoucí textilie

- střední až rychle namočení textilie
- střední až rychlá absorpce
- malá oblast šíření kapaliny
- pomalé šíření roztoku textilií
- slabý jednosměrný přenos

5. Rychle absorbující a rychle schnoucí textilie

- střední až rychle namočení textilie
- střední až rychlá absorpce
- velká oblast šíření kapaliny
- rychlé šíření roztoku textilií
- slabý jednosměrný přenos

6. Vodě propustné textilie

- malá oblast šíření kapaliny textilií
- výborný jednosměrný přenos roztoku

7. Textilie s managementem vlhkosti

- střední až rychle namočení textilie
- střední až rychlá absorpce
- velká oblast šíření kapaliny na spodní straně textilie
- rychlé šíření roztoku na spodní straně textilie
- dobrý až výborný jednosměrný přenos

3.6 Možnosti testování odvodu vlhkosti

3.6.1 MMT: metoda charakterizující vlastnosti managementu kapalné vlhkosti textilií

Zkoumáním této metody se zabývalo již mnoho institutů a vědeckých prací. Princip měření je založen na senzorickém snímání vlhkosti na materiálu z lící i rubní strany. (viz. Kapitola 3.5) Úskalím této metody je, že měřicí plocha snímaná senzory udává

jako výsledek hodnotu průměru. Ovšem šíření kapaliny ve skutečnosti neprobíhá kružnicovým způsobem, nýbrž dle struktury materiálu se může šířit do elipsy. Naměřený průměr tak nebere v úvahu tento aspekt.

Objektivní měření bylo srovnáváno se subjektivním vnímáním vlhkých pocitů během cvičení. [25] Subjektivní měření je spojeno s vnímáním vlhka, což naznačuje, že subjektivní vnímání pocitů vlhkosti při pocení je možné předvídat podle výsledků měření MMT.

Subjektivní měření: Dvacet osm žen ve věku mezi 18 a 35 byly subjekty experimentu, provedeného v klimatizované místnosti s teplotou $29 \pm 1^\circ \text{C}$ a $85 \pm 2\%$ relativní vlhkostí vzduchu. Subjekty běžely na běžeckém pásu, oděny do oděvu z testovaného materiálu po dobu 20 minut. Hodnotily pocity vlhkosti na 7-bodové stupnici před (čas = 0), v průběhu času (= 5, 10, a 15), a na konci (doba = 20) za 20 minut měřicího úseku. Na konci tohoto měření, byly subjekty nuceny k odpočinku po dobu nejméně 30 minut. Po 30-minutového odpočinku, byli subjekty povinni opakovat zkušební proces v jiném oděvu. Výsledkem bylo porovnání vztahů mezi hodnotami z měřicího přístroje MMT a pocity subjektů. Korelace mezi těmito výsledky nejsou významné v časovém úseku 0, 5, a 10 minut, ale stávají se významnými v 15. a 20. minutě běhu.

Osm sad sportovního oblečení byly testovány a výsledky měření ukazují, že existují významné rozdíly u všech měřených ukazatelů mezi textiliemi. Přestože materiály byly vybrány ze značkových sportovních textilií na trhu, vlastnosti managementu vlhkosti jsou hodně odlišné. Některé pleteniny mají dobrý management vlhkosti a jednosměrný přenos kapaliny. Některé pleteniny mají rychlé absorpční vlastnosti, a některé pleteniny odpuzují vodu. Subjektivní vnímání vlhkosti je výrazně ovlivněn dobou běhu. Výsledky se zvyšují s běžícím časem od 0 do 20. minut. Výsledky měření mohou být použity pro charakterizaci managementu vlhkosti souvisejícím s pohodlím a fyziologickým komfortem při aktivním sportu. [25]

3.6.2 Vliv managementu vlhkosti na funkční oděv do chladného prostředí

Tato práce uvádí studii o vlivu šíření vlhkosti u oděvů do chladného prostředí. V tomto výzkumu byly testovány 2 druhy typů oděvů, které byly speciálně konstruované pro měření managementu vlhkosti ve vrstveném systému oděvů. Oba systémy mají 4 vrstvy oděvů (spodní prádlo, triko, mikinu, bundu), ale s použitím

různých materiálů. Experiment probíhal klimatizované místnosti s teplotou vzduchu - 15°C. Jedenáct mladých mužů oděných do systému oděvů A nebo B chodilo na běžeckém pásu. Před testováním museli dodržet 5 zásad, které zaručily stejné rozpoložení organismu. Bylo stanoveno devět etap experimentu. Každá fáze trvala 10 minut.

Předmětem měření byla srdeční frekvence, krevní tlak, senzorické snímání managementu vlhkosti na lidské pokožce, vlhkost pod oděvem a změna vlhkosti vzduchu. Absolutní vlhkost a relativní vlhkost vzduchu se rychle zvyšovala během chůze vlivem pocení u obou typů oděvů. U typu oděvu A dosáhla relativní vlhkost vzduchu z lící strany spodního prádla 100% na konci testu, což znamená, že došlo k transportu vlhkosti na spodním prádle na lící stranu. Relativní vlhkost z lící strany spodního prádla u oděvu B dosáhla pouze 78% a na konci testu.

Výsledky experimentů ukázaly, že vlastnosti oděvních systémů významně ovlivňují management vlhkosti a teplotu a pohodlí oděvu. Propustnost vodních par a management vlhkosti materiálů jsou opravdu velmi důležité aspekty pro oděvy zajišťující vynikající tepelnou izolaci, transport vlhkosti a komfortní výkon. Pocit vlhkosti byl vnímán významně vyšší u oděvu A než u oděvu B. Nejdůležitějším poznatkem v experimentech bylo, že vlhkost na povrchu kůže a na lící straně spodního prádla byla výrazně nižší u oděvu B než u oděvu A, absolutní hodnota vlhkosti byla významně vyšší na lící straně trika u oděvu B než u oděvu A. Tyto výsledky naznačují, že byl pot vznikající při výkonu rychle přenášen z lidské pokožky na spodní vrstvu a ta transportovala kapalinu na lící stranu u oděvu B rychleji, než systém oděvu A. [26]

3.6.3 Vlastnosti managementu vlhkosti u pletenin z vlny/polyesteru a vlny/bambusových vláken pro základní sportovní vrstvu

Tento výzkum se snažil testovat vlastnosti managementu kapalně vlhkosti u směsových pletenin různého složení: vlny/polyesteru a vlny/bambusových vláken v různých poměrech, vhodných pro základní vrstvy sportovních oděvů. Pleteniny byly vyrobené v odlišných vazbách a jejich vlastnosti byly hodnoceny pomocí MMT. Směšováním vlny s polyesterem nebo vlny s bambusovým vláknem bylo účelné pro zlepšení vlastností managementu kapalně vlhkosti pletenin ve srovnání se 100 % vlněnou a 100 % pleteninou z bambusových vláken. Z devíti zkoumaných materiálů bylo pět klasifikováno jako pleteniny s dobrým managementem kapalně vlhkosti, které jsou vhodné pro základní vrstvy aktivního sportovního oblečení.

Strukturální a fyzikální vlastnosti jednotlivých vzorků prokázaly, že pleteniny mají podobnou plošnou hmotnost, tloušťku a pórovitost. Vlastnosti managementu kapalné vlhkosti byly hodnoceny dle výsledků z přístroje MMT.

Pletené textilie s rozdílnými poměry vlny a polyesteru a vlny a bambusových vláken mají různé vlastnosti managementu kapalné vlhkosti, čímž potenciálně je možné dle výsledků vyrobit takovou pleteninu, která bude mít požadovaný management kapalné vlhkosti v ideálním poměru.

Směsování vlněných vláken s vlákny polyesteru zlepšila materiálové vlastnosti rubního povrchu ve srovnání s pleteninami pouze z vlněných vláken, bez směsování. Směsované vlněné vlákno s bambusovým vláknem zlepšilo vlastnosti rubní strany pleteniny ve srovnání s pleteninami pouze z vlněných vláken nebo pleteninami vyrobených z pouze bambusových vláken.

Tato zkušební metoda sama o sobě přibližuje hodnocení pohodlí oděvu nebo textilního výrobku. Důležitý je však také faktor lidského vnímání pohodlí, který je ovlivněn managementem kapalné vlhkosti, stejně jako ergonomickými a dalšími mechanickými faktory. Komfortní vlastnosti testovaných látek tak mohou být považovány za předběžné.

3.6.4 Moisture Management Tester: Metoda charakterizuje textilie s vlastností managementu kapalné vlhkosti

Když je vlhkost transportována materiálem, elektrický odpor materiálu se změní a hodnota odporu změny bude záviset na dvou faktorech: složení kapaliny a obsah kapaliny v materiálu. Elektrický odpor textilií je obvykle velmi velký, pokud jsou umístěny v uzavřeném okruhu. Tato metoda měří změny obsahu vlhkosti u dvou povrchů. Pro výrazné snížení environmentálních faktorů měření, by měly být vzorky o velikosti 90 x 90 mm ultrazvukově čištěny k odstranění nadměrné vody a klimatizovány při 21 ± 1 ° C a 65 ± 2 % RH po dobu nejméně 24 hodin. Změny obsahu vody v závislosti na čase na horní a spodní ploše textilie prokazují, že obsah vody na horním povrchu textilie je mnohem nižší, než na spodní ploše textilie. To znamená, že kapalina, která se zavádí na povrch horní strany textilie se rychle transportuje do spodní plochy. Z měření byla odvozena sada indexů, které stanovují management kapalné vlhkosti.

[10]

3.7 Typy funkčních materiálů na trhu

Funkční materiály pro výrobu sportovních oděvů jsou trendem pro spoustu výrobců. Každý výrobce si materiály nazývá dle svého uvážení, složením materiálu a typem použitých vláken jsou si však podobné. V této kapitole uvádím nejběžnější typy těchto materiálů. [22], [23], [24]

3.7.1 Polartec® Power Stretch®

Stavba pleteniny se skládá ze dvou vrstev - vnější, tvořené pevným nylonem odolné větru a oděru a vnitřní, velurové vrstvy, poskytující vysoký tepelný komfort a příjemný pocit na těle. Obě vrstvy dokonale odvádí pot a tělesné výpary. Polartec® Power Stretch je snadný na údržbu a rychle schne. Je to ideální materiál pro všechny sportovní aktivity - od běhání až po horolezectví, všude tam, kde je nutná odolnost proti oděru, maximální rozsah volného pohybu a čisté tvary. Materiál je adaptabilní na měnící se počasí, je vynikajícím materiálem pro základní (spodní) oděvní vrstvy, může se však nosit i přes lehčí funkční prádlo či jako lehké vnější oděvy. [22], [23], [24]

3.7.2 Polartec® Power Stretch-RX®

Kombinace elastického 4 - kanálkového stretchu s vynikající prodyšností (24x vyšší než neopren) a unikátní patentovanou třidimenzionální konstrukcí. Výborně odvádí vlhkost, je příjemný na dotek, nedráždí pokožku, vlastnosti materiálu omezují možnost poranění pokožky. Polartec® Power Dry® je vysoce prodyšný materiál s patentovanou dvousložkovou úpletovou konstrukcí, využívající vlastností rozdílných vláken na každé straně pleteniny. Umožňuje o 30% vyšší odvod vlhkosti než jiné textilie. Schne rychleji než bavlna, má ochranný faktor proti UV záření 15. [22], [23], [24]

3.7.3 Lycra®

Pozoruhodná schopnost vlákna Lycra® roztáhnout se a vrátit se do původního stavu zlepšuje vlastnosti oděvů. Dodává pocit pohodlí a volnost pohybu, oděv lépe padne a udržuje si svůj tvar. Vyznačuje se zvýšenou nemačkovostí. Pružnost, kterou vlákno Lycra® dodává sportovním oděvům, umožňuje, aby aerodynamicky přiléhalo k tělu a přitom nebránilo v pohybu. [22], [23], [24]

3.7.4 SUPPLEX®

Jemné a měkké vlákno od společnosti DuPont® na dotek připomínající bavlnu s výbornou odolností proti větru a vodě. Výrobky z materiálu s vláknem Supplex® výborně drží tvar, nemačkají se, nesrážejí, jsou voduodpudivé, oděru odolné, nešmolkují a velice rychle schnou. Při opakovaném praní a sušení barvy zůstávají jasné. [22], [23], [24]

3.7.5 COOLMAX®

Hydrofobní polyester složený z čtyřkanálkových vláken mají schopnost odvádět vlhkost bez absorbce do vláken. Cool DRY® je prodyšný rychleschnoucí materiál, který díky rychlému odvodu potu z vnitřní strany udržuje tělo v suchu a při optimální teplotě. Coolmax® je certifikované mikrovláknem s 100% polyesterovým vláknem. Udržuje na těle souvislou vzduchovou vrstvu a je tepelně stabilní jak v chladném tak teplém počasí. Zachová tělo neustále v teple a suchu. Vynikajícími schopnostmi materiálu Coolmax® je odvádění vlhkosti, snadná údržba a především tento materiál odpuzuje pachy. Dokáže také snižovat teplotu pokožky a tím i tepovou frekvenci. Používá se hlavně při výrobě funkčního spodního prádla, ponožek a lyžařských kukel. Díky svým vlastnostem jsou oděvy obsahující Coolmax® oblíbené u vrcholových sportovců a získal si značnou popularitu i u velké skupiny rekreačních sportovců nebo i při užívání v běžném životě. Coolmax® Fresh FX. Funkční výrobky s obsahem Coolmax® Fresh FX. Jde o materiál s aktivní ochranou proti mikroorganismům a lidskému pachu, čehož bylo dosaženo zabudováním iontů stříbra do vlákna. Stříbro je tak součástí vlákna a má preventivní vliv. [22], [23], [24]

3.7.6 THINSULATE®

Thinsulate® je mikrovláknem s velmi dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Tyto vlastnosti umožňují dosáhnout stejných parametrů jako u dutých vláken s výraznou úsporou hmotnosti. Poskytuje optimální ochranu proti chladu při malé tloušťce materiálů. [22], [23], [24]

Experimentální část

Záměrem experimentu bylo ověřit metodu sledování a měření šíření kapalné vlhkosti u pletenin. Jde o experimentální simulaci schopnosti materiálu rychle absorbovat vlhkost (odvod potu z lidské pokožky) a přenos této vlhkosti z rubové na lící stranu textilie.

4 Stanovení experimentu

4.1 Konstrukční parametry pletenin

Pleteniny jsou tvořeny z jedné soustavy nití, jež je propletena v určité vazbě. Vazné body jsou tvořeny lineární interakcí nití. Tento způsob provázání umožňuje větší posuv nití ve vazném bodě. V praxi to znamená, že pletenina má větší schopnost se deformovat, než tkanina.

S vazbou úzce souvisí další konstrukční parametry:

- plošná hmotnost (jemnost textilie) [kg.m^{-2}]
- tloušťka [m]
- objemová měrná hmotnost [kg.m^{-3}]
- pórovitost [%] hustota (dostava osnovy a útku, hustota řádků a sloupků)
- změny délky nití (setkání, procento setkání, spletení, procento spletení)

4.1.1 Plošná hmotnost

Norma: ČSN EN 12 127 (80 0849)

TEXTILIE – Plošné textilie – Zjišťování hmotnosti pomocí malých vzorků

Předmět normy: Tato norma stanoví metody pro zjišťování plošné hmotnosti pomocí malých vzorků klimatizovaných v normálním zkušebním ovzduší nebo vzorků v suchém stavu. Norma platí pro tkaniny a pleteniny.

Definice:

Plošná hmotnost – hmotnost známé plochy plošné textilie, vztažená k této ploše, vyjádřená v gramech na čtvereční metr.

Podstata zkoušky:

Reprezentativní vzorek plošné textilie se klimatizuje ve volném stavu, vystříhnou se zkušební vzorky, které se zváží v klimatizovaném stavu a vypočítá se plošná hmotnost.

Velikost vzorků – minimálně 5 vzorků o velikosti minimálně 100 cm²

Vyjádření výsledků:

Plošná hmotnost každého zkušební vzorku M, v gramech na čtvereční metr se vypočítá podle vzorce: $M = \frac{m \cdot 10\,000}{A}$

A plocha vzorku v cm²

mhmotnost zkušební vzorku v klimatizovaném stavu v gramech

Vypočítá se průměrná plošná hmotnost v gramech na čtvereční metr a výsledek se zaokrouhlí na 3 platné číslice.

Zjištěné výsledky se zváží a zjištěné hodnoty se zaznamenají s přesností na 1 mg.

Tabulka č. 3 Plošná hmotnost

Označení materiálu	Plošná hmotnost	Označení materiálu	Plošná hmotnost	Označení materiálu	Plošná hmotnost
DOC 841	145 g/ m ²	GILDAN	215,89 g/ m ²	POLARTEC Č	179,52 g/ m ²
JP 341	152 g/ m ²	FCM PRATO	151,61 g/ m ²	POLARTEC B	124,17 g/ m ²
FSC 247	175 g/ m ²	JSPX	220,02 g/ m ²	POLARTEC Š	183 g/ m ²
JW 302	150 g/ m ²	MAKEDONIE	156,95 g/ m ²		
DTC 419	165 g/ m ²	OXYLANE	161,17 g/ m ²		
OPS 575	165 g/ m ²	USA DUKE	153,86 g/ m ²		

4.1.2 Tloušťka

Digitální tloušťkoměr, přístroj SDL M034A

Přístroj SDL M034A je určen pro měření tloušťky textilií, které je stanoveno jako měření kolmé vzdálenosti mezi základní deskou, na které je vzorek umístěn a paralelním kruhovým přitlačným kotoučem, který vyvíjí specifikovaný přítlak na zkoušenou plochu textilie. Přístroj je vybaven přitlačnou hlavicí 20 a 100 cm² a je možno aplikovat sílu 0,1 – 200 N. Průběh měření a zpracování výsledků je řízeno pomocí počítačového softwaru, přístroj je vybaven tiskárnou.

Norma: ČSN EN ISO 50 84 (80 0844)

Textilie – Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků

Definice:

Tloušťka textilie – kolmá vzdálenost mezi dvěma definovanými deskami, přičemž na textiliu působí přítlak 1 kPa nebo nižší.

Príslušenství přístroje: Přítlačná hlavice 20 cm², výměnná přítlačná hlavice 100 cm².

Volitelné parametry měření:

- Síla přítlaku: od 1 do 200g (Skutečný přítlak závisí na ploše přítlačné patky)
- Tloušťku lze měřit od 0,01 mm do 50,00mm

Podstata zkoušky:

Měření tloušťky textilie jako vzdálenosti mezi základní deskou, na které je vzorek umístěn a paralelním kruhovým přítlačným kotoučem, který vyvíjí specifikovaný přítlak na zkoušenou plochu textilie. Po 30 (±5) s se odečte údaj měřidla a zaznamená se.

Doporučený přítlak podle normy: 1 000 Pa

Doporučená plocha přítlaku: 20 cm²

Zátěž vzorku: 200 g

Podmínky laboratoře: 20°C, 65% rH

Vzorky textilie – ke zkoušce se nevyžaduje žádná specifická velikost vzorku, jen musí být větší než velikost přítlačné patky (kruh o ploše 20 nebo 100 cm²).

Vzorky nesmí vykazovat známky poškození.

Vyhodnocení:

Měření je vyhodnoceno pomocí počítače a instalovaného softwaru a výsledkem měření jsou hodnoty:

- průměrná tloušťka textilie: mm
- směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{s^2}$$

$$s^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)$$

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\%$$

- variační koeficient: %

Tabulka č. 4 Tloušťka materiálů

počet měření	OXY-LANE	USA DUKE	MAKE-DONIE	JSPX	FCM PRATO	GILDAN
1	0,55	0,64	0,56	0,79	0,61	0,73
2	0,56	0,63	0,57	0,77	0,57	0,71
3	0,5	0,64	0,56	0,8	0,58	0,74
4	0,55	0,62	0,56	0,8	0,59	0,74
5	0,55	0,63	0,56	0,8	0,57	0,7
6	0,52	0,63	0,57	0,79	0,58	0,73
7	0,55	0,62	0,56	0,77	0,57	0,74
8	0,54	0,63	0,58	0,77	0,57	0,7
9	0,6	0,59	0,57	0,78	0,59	0,73
10	0,57	0,53	0,54	0,8	0,59	0,72
11	0,62	0,61	0,55	0,79	0,57	0,72
12	0,61	0,64	0,56	0,78	0,55	0,72
13	0,61	0,64	0,57	0,79	0,58	0,73
14	0,58	0,61	0,56	0,81	0,56	0,73
15	0,59	0,6	0,56	0,8	0,55	0,75
průměr	0,566	0,617	0,562	0,789	0,575	0,726
Směrodatná odchylka	0,034	0,028	0,009	0,012	0,015	0,014
rozptyl	0,00113	0,00077	0,00008	0,00015	0,00024	0,00019
Variační koeficient	0,05929	0,04484	0,016178	0,01565	0,02683	0,01935

Tabulka č. 5 Tloušťka materiálů

počet měření	JW 302	DTC 419	JP 341	OPS 575	FSC 247	DOC 841
1	0,55	0,95	0,55	1,04	0,68	0,66
2	0,55	1	0,54	1,03	0,7	0,65
3	0,55	0,97	0,55	1,08	0,69	0,68
4	0,57	0,98	0,55	0,98	0,68	0,64
5	0,55	0,96	0,54	1,01	0,69	0,66
6	0,52	1	0,53	1,01	0,68	0,65
7	0,54	0,91	0,55	1,05	0,67	0,64
8	0,54	0,97	0,55	1,04	0,67	0,64
9	0,53	0,88	0,54	1,02	0,67	0,64
10	0,55	0,97	0,55	1,04	0,67	0,64
11	0,53	0,98	0,56	1,04	0,67	0,65
12	0,53	0,98	0,55	1,06	0,67	0,63
13	0,56	0,98	0,54	1,02	0,69	0,65
14	0,54	1	0,52	1,03	0,68	0,64

15	0,56	1	0,54	1,06	0,68	0,65
průměr	0,544667	0,968667	0,544000	1,034000	0,679333	0,648000
Směrodatná odchylka	0,013098	0,032836	0,009522	0,023608	0,009286	0,011662
rozptyl	0,000172	0,001078	0,000091	0,000557	0,000086	0,000136
Variační koeficient	0,024048	0,033898	0,017504	0,022832	0,013669	0,017997

Tabulka č. 6 Tloušťka materiálů

počet měření	POLART.B.	POLART.Č.
1	0,45	0,76
2	0,44	0,77
3	0,44	0,76
4	0,44	0,75
5	0,44	0,75
6	0,44	0,74
7	0,45	0,74
8	0,45	0,74
9	0,44	0,73
10	0,45	0,77
11	0,44	0,76
12	0,44	0,76
13	0,44	0,75
14	0,45	0,75
15	0,45	0,75
průměr	0,444000	0,752000
Směrodatná odchylka	0,004899	0,011075
rozptyl	0,000024	0,000123
variační koeficient	0,011034	0,014728

4.1.3 Materiálové složení

Pleteniny

-jsou plošné textilie, vyrobené z jedné nebo více soustav nití, které jsou vzájemně propojeny pletařskou technikou

- jsou zhotovovány z přízí přírodních vláken, z vláken přírodních i syntetických polymerů a jejich směsí

- za účelem zajištění většího komfortu nošení se do pletenin vplétá nebo vkládá hladké, ovíjené nebo opředené elastanové vlákno o různé jemnosti (cca 17 - 44 dtex)...rozměrová stabilita (v oblasti kolen, loktů, atd.)

- vysoká tažnost, pružnost, měkkost, prodyšnost, nasákavost, dobrá tepelně izolační schopnost (vysoce objemné příze), nemačkavost, vyšší plošná hmotnost, paratelnost, zátrhavost
- parametry, které definují pleteninu: materiálové složení, plošná hmotnost, hustota...počet řádků, sloupků na jednotku délky, spleten, vazba (zátažné, osnovní)

Názvy souboru vzorků DOC 841, JP 341, FSC 247, OPS 575, JW 302, DTC 419 mají v této práci názvy převzaty od výrobce. Výrobce těchto materiálů je SINTEX, a. s. (pobočka Česká Třebová). Tyto materiály byly katedrou oděvnictví zakoupeny v rámci projektu TRANSFORTEX). Další materiály byly průběžně doplňovány. MAKEDONIE (Makedonie/Afghadistan), JSPX (Rumunsko), FCM PRATO (Itálie), GILDAN (Velká Británie), USA DUKE (USA), OXYLANE (Francie) – jedná se o trička armád různých zemí, které jsou testovány katedrou oděvnictví. POLARTEC šedý je od dodavatele Malden Mills USA, (pobočka v Příbrami). Armádní materiály, které mají stejné složení se liší gramáží. Druhy Polartecu se liší vazbou.

Mezi délkové textilie zahrnujeme všechny délkové útvary složené z vláken, tedy kabel, kabílek, hedvábí, monofil, pramen, přást, příze. Rozdělujeme je na přádelnické poloproducty (kabel, pramen, přást) a produkty, jejichž společné označení je nit. Konstrukce těchto útvarů sleduje použitý technologický princip zpracování vlákenné suroviny, kde jednotlivá vlákna mají převážně axiálně spirálovou polohu. Protože principem předení je získat útvar přízi, jejíž délková hmotnost je v každém jednotkovém úseku zhruba konstantní, jsou mechanické vlastnosti tohoto útvaru dány nejen jeho konstrukcí (příze prstencová, rotorová, frikční, trysková). Vlastnosti poloproductů mají především význam technologický a slouží proto pro regulaci výroby za účelem dosažení co nejvyšší kvality vyráběné příze. Patří mezi ně především nestejnomyšnost hmotnosti a soudržnost. U směsových textilií ještě přistupuje homogenita promísení, dodržení směsového poměru, migrace vláken atd. [18]

Tabulka č. 7 Materiálové složení, typ vazby pleteniny, označení vzorku.

Označení vzorku	Materiálové složení	Typ vazby pleteniny
DOC 841	100% Polyester Coolmax fresh (antibakteriální)	Zátažná oboulící pletenina s dutinou
JP 341	95% Bavlna česaná / 5% vodivé vlákno	Zátažná jednolící hladká pletenina
FSC 247	62% Polyester Coolmax fresh / 32% PE micro / 6% Lycra	Zátažná oboulící žebrová pletenina
JW 302	100% vlna Merino	Zátažná jednolící hladká pletenina
DTC 419	52% micro modal / 48% Polypropylen	Zátažná dutinná pletenina
OPS 575	100% Polypropylen antibakteriální	Zátažná oboulící pletenina s dutinou
POLARTEC černý	100% Polyester	Zátažná oboulící pletenina s dutinou
POLARTEC béžový	100% Polyester	Zátažná jednolící hladká pletenina
POLARTEC šedý	100% Polyester	Zátažná jednolící hladká pletenina
MAKEDONIE	50% Bavlna / 50% Polyester	Zátažná jednolící hladká pletenina
FCM PRATO	100% Bavlna	Zátažná jednolící hladká pletenina
GILDAN	100% Bavlna	Zátažná jednolící hladká pletenina
USA DUKE	50% Bavlna / 50% Polyester	Zátažná jednolící hladká pletenina
OXYLANE	100% Bavlna	Zátažná jednolící hladká pletenina
JSPX	100% Bavlna	Zátažná jednolící hladká pletenina

4.2 Stanovení experimentu

Pro měření bylo stanoveno 15 materiálů, zátažných pletenin různých vazeb, u kterých byl předpoklad rychlého přenosu kapaliny z rubní strany na lící stranu materiálu. Bylo připraveno 5 vzorků z každého vybraného materiálu. Vzorky byly před měřením a klimatizováním vyprány v pračce značky Samsung na Rychlý program, doba cyklu 37 minut, při odstředění 800 otáček/min, při teplotě 40°C, bylo použito 0,25 ml pracího prášku zn. Persil. Vzorky byly upínány do rámečku, který se se vzorkem vkládal na stojan v měřicím zařízení. Velikost rámečku je 23x23 cm, úhlopříčka 26 cm.



Obr. č. 10 Upínací rámeček

Experiment se odehrával v měřicí kabině, vyrobené z kartonu, o rozměrech 130 x 100 x 155 cm (délka x šířka x výška). Tato kabina byla zvolena z důvodu požadavku měření v zatemněné komoře. Celá kartonová kabina byla pokryta černou textilií, která ji zcela zakrývala.



Obr. č. 11 Pipeta nad vzorkem

Měření plochy šíření vlhkosti kapaliny bylo rozděleno na dvě etapy. První etapou bylo snímání transportu kapaliny z rubní strany pleteniny. V této etapě byl stojan se vzorkem umístěn na podstavci.



Obr. č. 12 Pohled na měřicí kabinu – vchod

Druhou etapou bylo snímání transportu kapaliny z lící strany pleteniny. V této etapě byl stojan se vzorkem umístěn na stole. Snímacím zařízením v tomto experimentu byla stanovena Kamera FLIR Systems Thermovision®.

Délka záznamu byla definována na časový úsek 3 minuty, přičemž při zpracování experimentu byl sledován průběh šíření vlhkosti kapaliny pro každou minutu samostatně v závislosti na velikosti plochy. Pro dávkování kapaliny (H_2O) byla zvolena automatická pipeta Fisher Scienti s definovanou velikostí kapky na 20,0 μl . Úhel pipety upevněné na stojanu je 45°. Stojan upínacího rámu, byl původem stojanem na noty, pro toto měření byl upraven.

Kapalina zvolená pro tento experiment je voda. Tato volba vychází z poznatků již prováděných experimentů u měření na přístroji MMT, kde kapalina (fyziologický roztok), která byla použita simulovala lidský pot. Ten samý test byl proveden i s destilovanou vodou. Výsledky ukázaly, že při jejich porovnání je rozdíl zanedbatelný.



Obr. č. 13 Aparatura pro měření rubní strany vzork

Postup měření byl pro obě etapy měření totožný. Aby bylo možné snímky vyhodnotit obrazovou analýzou, musíme provést kalibraci na začátku každého měřicího dne. Ke kalibraci záznamu byl použit špendlík o délce 2,7 cm, který byl nahřátý pomocí zapalovače a pinzetou přiložen na vzorek.



Obr. č.14 Aparatura pro snímání lící strany vzorku

4.2.1 Postup měření

Přístroji nezbytnými k měření byla termovizní kamera, PC s programem ThernaCAM Researcher Professional. Aparatura obsahovala automatickou pipetu, držák na pipetu, stojan na pipetu a stojan s rámem na vzorek.

Postup:

1. Zapnout PC, otevřít program ThernaCAM Researcher Professional.
2. Zapnout kameru FLIR, propojit ji s PC.
3. Sjednotit čas na kameře a v PC.
4. Nasát kapalinu do pipety.
5. Upnout klimatizovaný vzorek do upínacího rámu lící stranou nahoru.
6. Upínací rámeček umístit na stojan.
7. Provést kalibraci kamery.
8. Zakrýt kabinu černou textilií.
9. Vložit pravou ruku do otvoru, uchytit konec pipety.
10. Levou ruku nachystat na spouštěcí klávesu F5.
11. Zmáčknout pipetu a v tu samou chvíli klávesu F5.
12. Měření běží po dobu 3 minut, záznam ukončíme klávesou F5.
13. Kontrola záznamu.
14. Příprava dalšího vzorku.

Záznamy z kamery byly ukládány ve formátu sekvencí, které bylo třeba převést v programu ThernaCAM Research Professional na videa ve formátu AVI. Videozáznamy, které program dokázal rozložit na jednotlivé obrazy, byly vyfiltrovány příkazy Recording-reduce a Frame rate. Videa byly následně zpracovány v programu NIS-ELEMENTS-AR 4.00.08, kde každý záznam byl kalibrován, převeden do šedého obrazu, prahován a následně byla změřena plocha absorbované vlhkosti kapaliny (mm^2). Naměřené hodnoty se ukládaly v programu Microsoft Excel.

4.2.2 Zpracování dat

Tato kapitola popisuje zpracování výsledků v programu ThernaCAM Researcher Professional a NIS ELEMENTS.

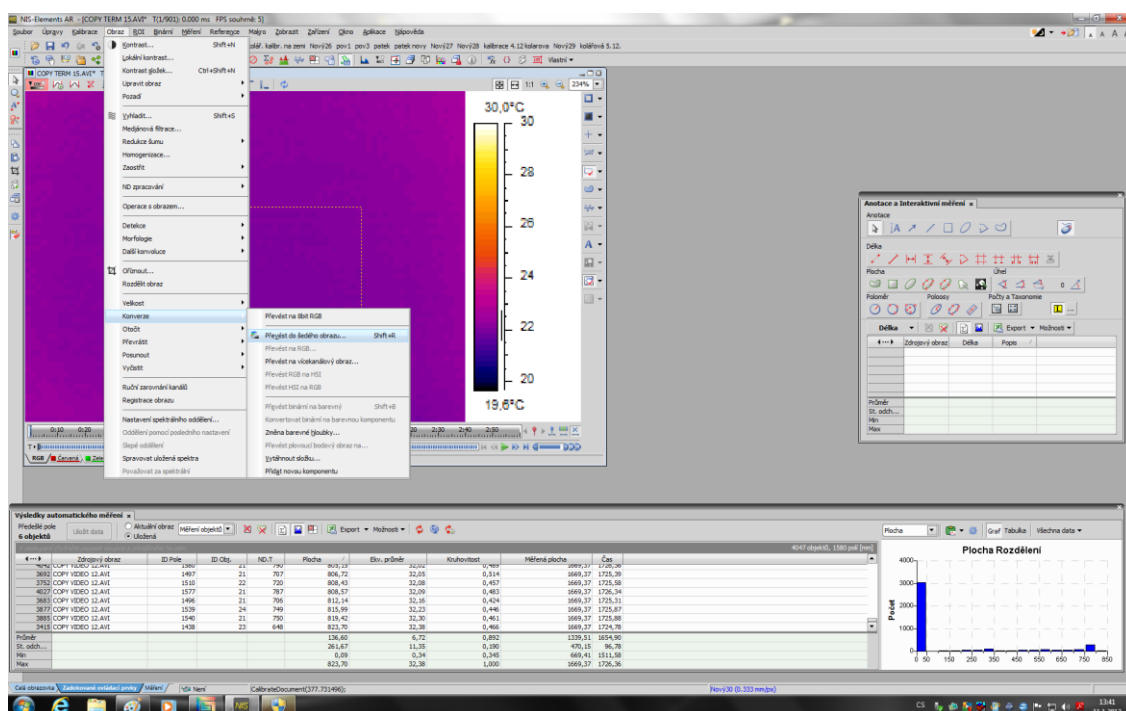
Postup:

1. Otevřít program ThernaCAM Researcher Professional.
2. Převod sequence na video.

3. Otevřít program NIS-ELEMENTS-AR 4.00.08.

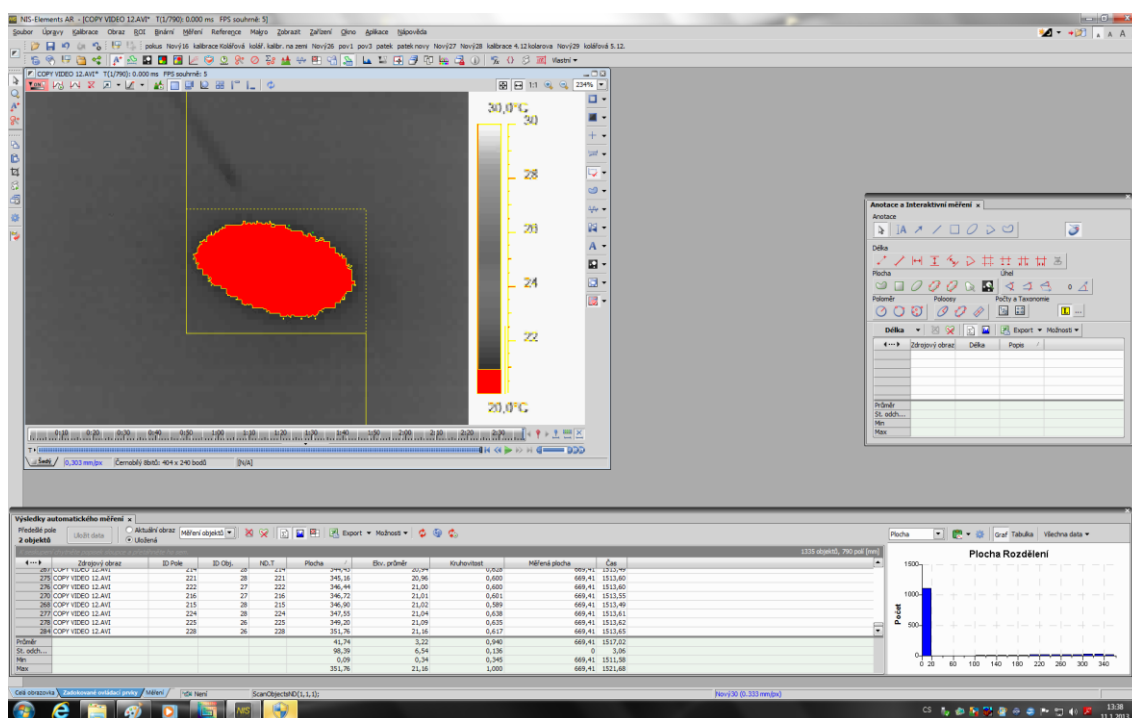
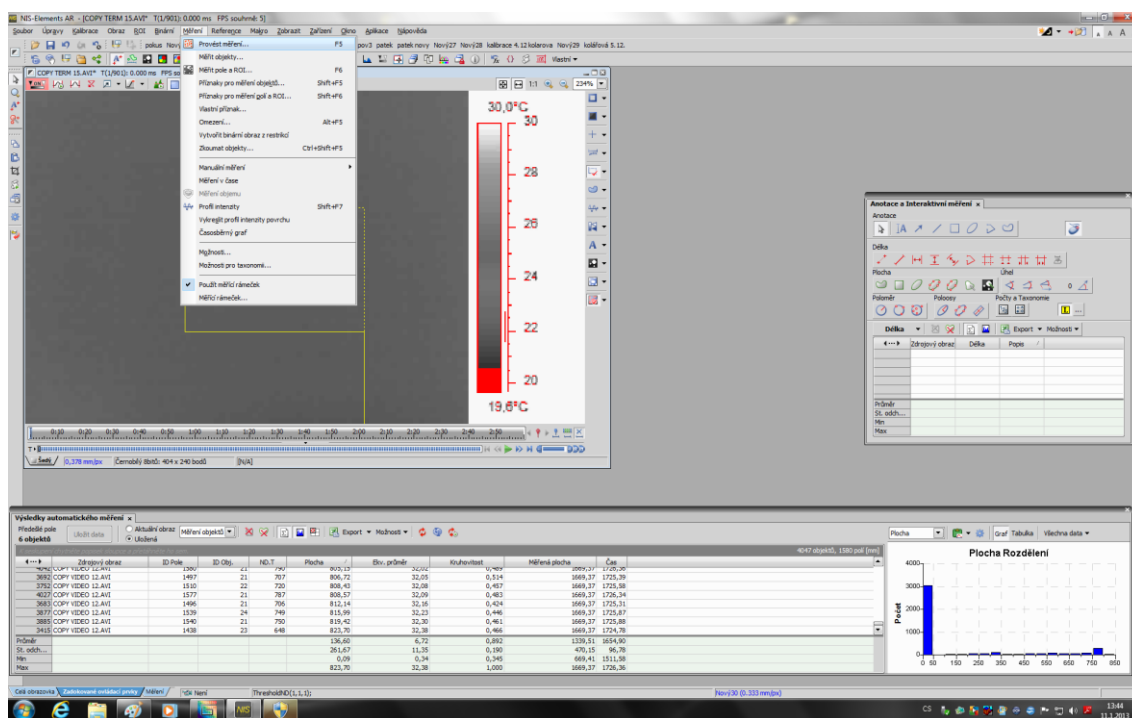
- Kalibrace pro měření z lící strany: 0,303 mm/px

- Převod videa na šedý obraz: OBRAZ – KONVERZE – PŘEVÉST DO ŠEDÉHO OBRAZU – (všechny snímky).



Obr. č. 15 Převod videa na šedý obraz v programu NIS-ELEMENTS-AR 4.00.08

- Zapnout měřicí rámeček, (vyčistit měřicí rámeček).
- Prahování: BINÁRNÍ – DEFINICE PRAHOVÁNÍ – (všechny snímky).



- Export dat do programu Microsoft Excel.

4.2.3 Podmínky měření

Měření probíhalo v klimatizované místnosti za podmínek:

- relativní vlhkost vzduchu: 65%
- teplota vzduchu: 21°C

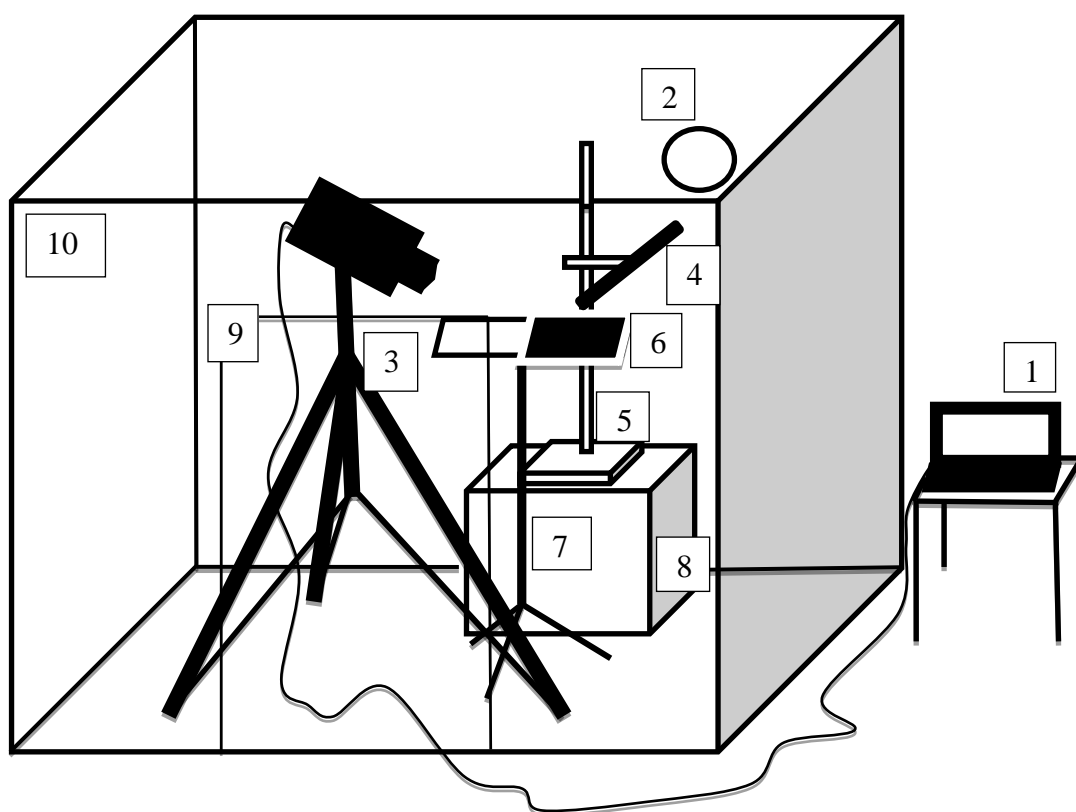
4.2.4 Schéma měřicího zařízení

Měřicí aparatura, která snímá vzorek z rubní strany je znázorněna na schématu I. Pro snímání vzorku z lící strany byla sestavena měřicí aparatura, která je znázorněna na schématu II.



Obr. č. 20 Detail měřicího zařízení pro snímání rubu

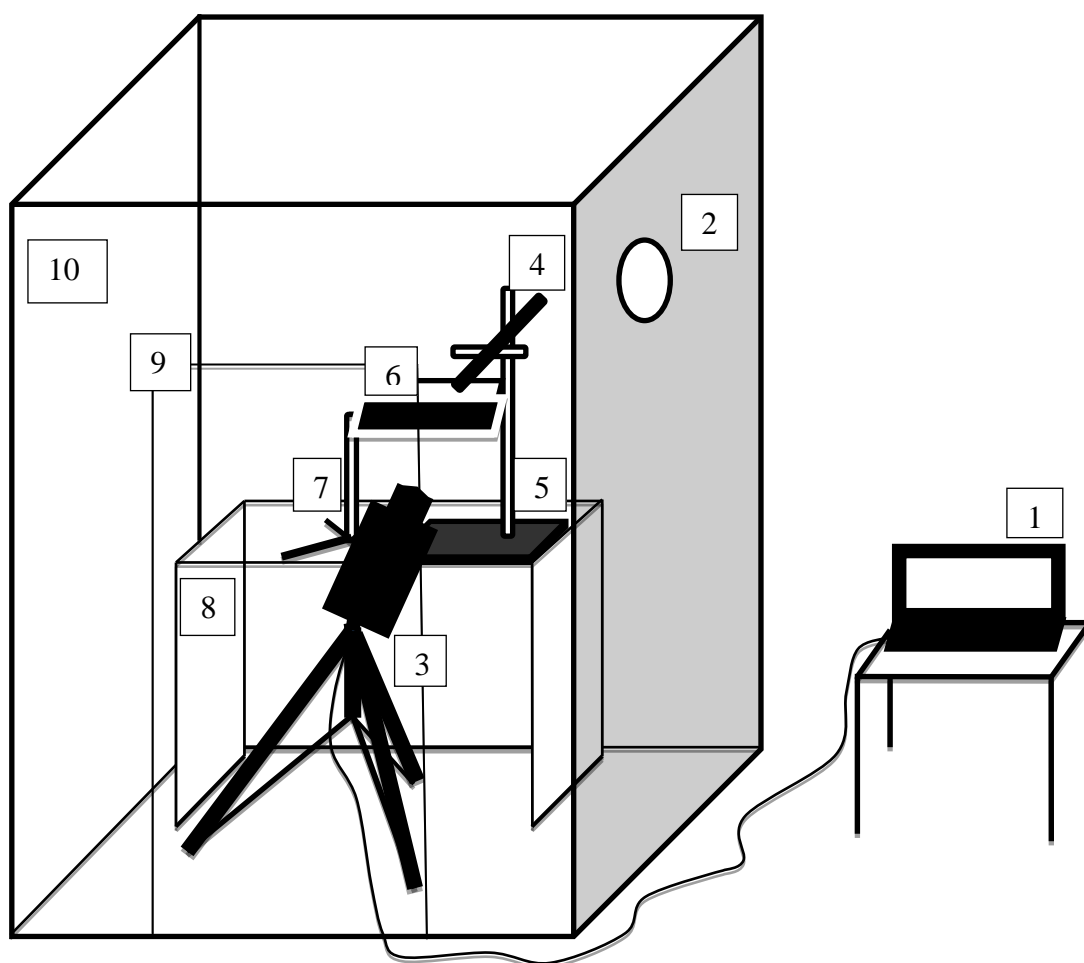
Schéma I.



<ol style="list-style-type: none"> 1. PC 2. Otvor pro ruku – kápnutí pipety 3. Kamera FLIR Systems Thermovision® 4. Automatická pipeta Fisher Scienti 5. Stojan na pipetu 6. Upínací rámeček vzorku 7. Stojan na upínací rámeček 8. Podstavec – krabice 9. Vchod do měřicí 10. Měřicí kabina vyrobená z kartonu 	<p>Vzdálenost pipety od vzorku: 1,5 cm</p> <p>Vzdálenost kamery od vzorku: 25 cm</p> <p>Úhel pipety: 45°</p> <p>Úhel kamery se zemí: 25°</p> <p>Výška kamery od země: 85 cm</p> <p>Výška podstavné krabice: 25 cm</p> <p>Vzdálenost rámu na vzorek od země: 70 cm</p>
---	---

Obr. č. 21 Schéma I: měřicí aparatura snímání rubní strany vzorku

Schéma II.



<ol style="list-style-type: none"> 1. PC 2. Otvor pro ruku – kápnutí pipety 3. Kamera FLIR Systems Thermovision® 4. Automatická pipeta Fisher Scienti 5. Stojan na pipetu 6. Upínací rámeček vzorku 7. Stojan na upínací rámeček 8. Stůl 9. Vchod do měřicí kabiny 10. Měřicí kabina vyrobená z kartonu 	<p>Vzdálenost pipety od vzorku: 1,5 cm Vzdálenost kamery od vzorku: 25 cm Úhel pipety: 45° Úhel kamery se zemí: 55° Výška kamery od země: 80 cm Výška podstavné krabice: 25 cm Vzdálenost rámu na vzorek od stolu: 30 cm</p>
---	--

Obr. č. 22 Schéma II: měřicí aparatura snímání lící strany vzorku

5 Vyhodnocení experimentu

V této části je popsán způsob filtrace dat, hodnocení a samotné vyhodnocení experimentu.

5.1 Zpracování dat

V zájmu experimentu bylo v zájmu sledovat minuty zvlášť:

- První minuta: start kapalně vlhkosti.
- Druhá minuta: průběh šíření kapalně vlhkosti.
- Třetí minuta: maximální plocha kapalně vlhkosti.

5.1.1 Zpracování dat v programu Microsoft Excel

Tato kapitola popisuje zpracování výsledků v programu Microsoft Excel. Ze souboru vygenerovaným z programu NIS ELEMENTS byly získány data naměřených ploch v mm². Filtrování dat probíhalo tímto způsobem: Hodnoty byly rozčleněny dle časového úseku – minut na 3 části: 1. minutu, 2. minutu a 3. minutu. Jelikož byl počet dat u každého vzorku jiný, byla zvolena metodika, kdy byl individuálně každý naměřený vzorek rozdělen na tři časové úseky. Každá část (minuta) pak byla rozdělena na 12 úseků (filtr: minuta rozfázovaná po pěti sekundách). Z časových sekvencí vyhledány obrazy po pěti sekundách. Z každé minuty – tedy šedesáti sekund byly vybrány obrazy po pěti sekundách. Z takto vyfiltrovaných dat byla zhotovena tabulka, která zahrnuje měření všech pěti vzorků každého materiálu a jejich průměr. Tabulky dat pro každý vzorek jsou k nahlédnutí v Příloze č. 1, grafické znázornění dat v Příloze č. 2. Z průměrných hodnot každého materiálu byla sestavena další tabulka s grafickým znázorněním, kde jsou porovnány výsledky měření. Toto hodnocení bylo vyhotoveno jak pro snímání vzorku nejprve rubní a následně i lící strany. Pro zřetelnost interpretace výsledků byly hodnoty sestaveny do intervalů sdružující data podobného charakteru.

5.1.2 Metodika vyhodnocení grafického znázornění

Průběh měření udávají hodnoty plochy (mm²). V závislosti na typu materiálu, jeho struktuře i složení reaguje každý materiál různou rychlostí šíření kapaliny a velikostí plochy. Pro zřetelnou orientaci byly zvoleny tři intervaly, které sdružují materiály podobného charakteru a naměřených hodnot. První interval sdružuje materiály, které mají pomalý průběh a jejich hodnoty se nepatrně zvyšují. Druhý interval sdružuje materiály poměrně rychleji reagující na

šíření kapaliny. Třetí interval zahrnuje materiály, jejichž šíření má rychlý průběh a transport kapaliny úměrně roste.

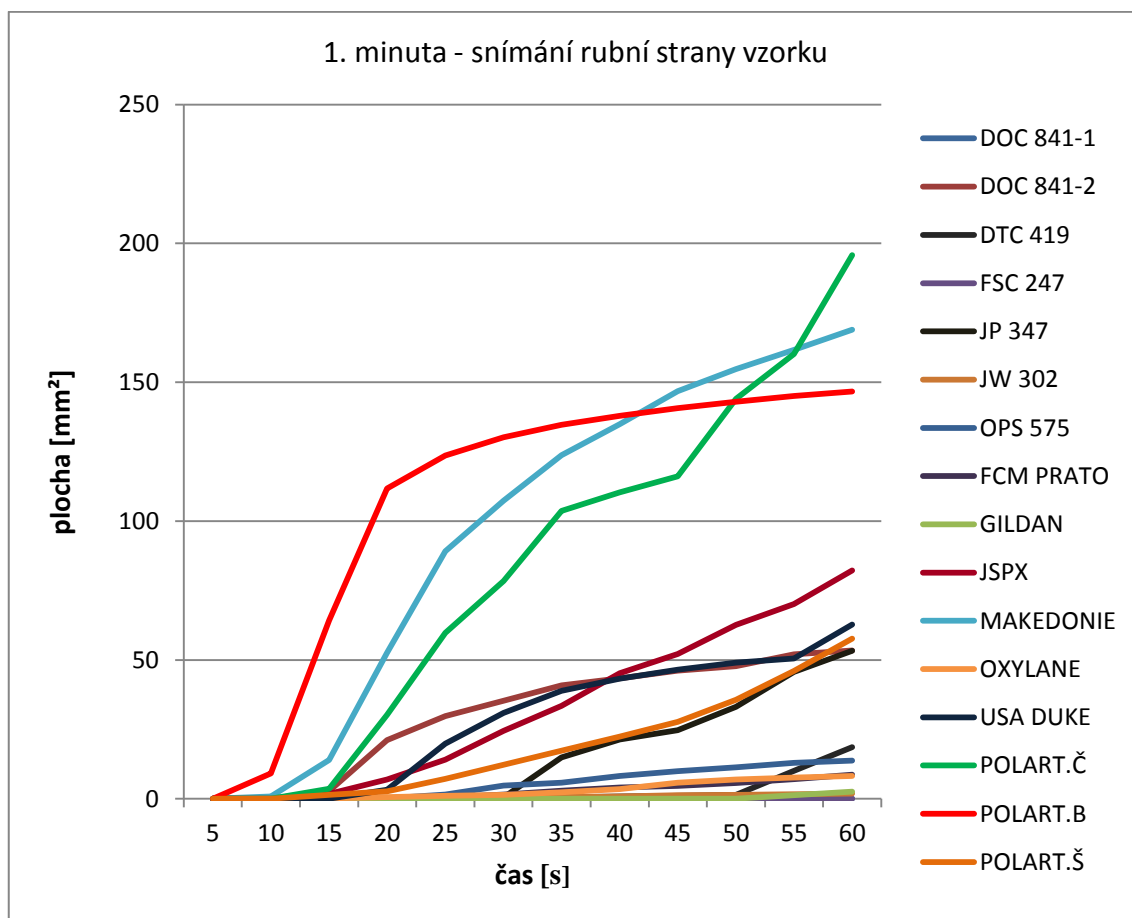
Z důvodu velkého objemu dat byly data uloženy v PC na katedře oděvnictví, kde jsou k nahlédnutí.

5.1.3 První minuta měření – průměrné hodnoty rubní strany

Tabulka č. 8 Průměrné hodnoty první minuty snímání rubní strany vzorku

snímání rubní strany vzorku – průměrné hodnoty ploch v mm ²				
1. Minuta (s)	DOC 841-1	DOC 841-2	DTC 419	FSC 247
5	0,09	0,09	0,09	0,09
10	0,09	0,09	0,09	0,09
15	0,1	2,768	0,108	0,09
20	0,1	21,164	0,146	0,09
25	0,1	29,802	0,164	0,09
30	0,1	35,304	0,33	0,09
35	0,1	40,86	0,5176	0,09
40	0,1	43,354	0,882	0,09
45	0,1	46,106	1,082	0,09
50	0,1	47,812	1,394	0,09
55	0,1	52,086	10,068	0,09
60	0,1	53,388	18,596	0,108
1. Minuta	JP 347	JW 302	OPS 575	FCM PRATO
5	0,09	0,09	0,09	0,09
10	0,09	0,108	0,09	0,09
15	0,108	0,202	0,108	0,09
20	0,128	0,276	0,146	0,218
25	0,328	0,348	1,56	0,57
30	0,548	0,478	4,786	1,596
35	14,946	0,624	5,796	2,936
40	21,438	0,9	8,216	4,052
45	24,776	1,34	9,994	4,696
50	33,122	1,484	11,314	5,648
55	45,72	1,634	12,912	7,074
60	53,296	1,89	13,81	8,656
1. Minuta (s)	GILDAN	JSPX	MAKEDONIE	OXYLANE
5	0,09	0,09	0,09	0,09
10	0,09	0,09	0,86	0,09
15	0,09	1,76	14,028	0,164
20	0,09	7,006	52,582	0,678
25	0,09	14,124	89,188	1,044

30	0,09	24,522	107,4	1,446
35	0,09	33,436	123,704	2,31
40	0,09	45,226	134,93	3,54
45	0,09	52,198	146,74	5,868
50	0,108	62,678	154,754	6,968
55	1,32	70,134	161,688	7,664
60	2,622	82,274	168,948	8,29
1. Minuta (s)	USA DUKE	POLARTEC ČERNÝ	POLARTEC BÉŽOVÝ	POLARTEC ŠEDÝ
5	0,09	0,11	0,11	0,09
10	0,09	0,11	9,186	0,09
15	0,09	3,572	64,266	1,42
20	3,32	30,246	111,71	2,732
25	19,916	59,74	123,628	7,188
30	30,976	78,49	130,198	12,25
35	38,88	103,656	134,68	17,348
40	43,262	110,336	137,942	22,428
45	46,564	116,126	140,626	27,764
50	49,004	144,042	143,044	35,67
55	50,49	160,11	145,088	46,086
60	62,724	195,818	146,642	57,6616



Graf č. 1 Výsledné hodnoty první minuty snímání rubní strany vzorku

Naměřené hodnoty se pohybují od 0,1 do 195,818 mm².

- Interval 1 (0,1 ~ 18,596) Pomalý průběh, naměřené hodnoty se nepatrně zvyšují. Zahrnuje materiály DOC 841-1 (0,1), DTC 419 (18,596), FSC 247 (0,108), FCM PRATO (8,656), OPS 575 (13,81), JW 302 (1,89), OXYLANE (8,29), GILDAN (2,622)
- Interval 2 (53,296 ~ 82,274) Střední průběh. Hodnoty se úměrně k časovému úseku zvyšují. Zahrnuje materiály: DOC 841-2 (53,388), JP 347 (53,296), JSPX (82,274), POLARTEC šedý (57,6615), USA DUKE (62,724)
- Interval 3 (146,642 ~ 195,818) Rychlý průběh. Zahrnuje materiály: MAKEDONIE (168,948), POLARTEC černý (195,818), POLARTEC béžový (146,642)

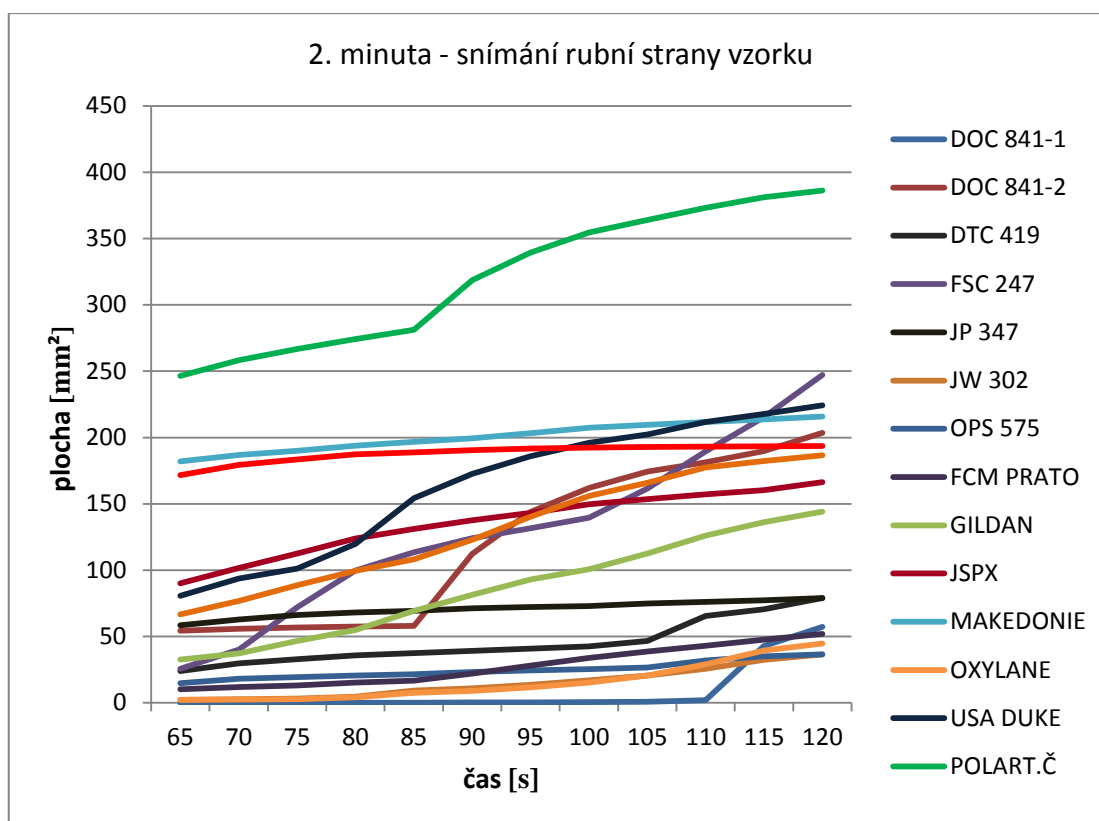
K rychlému nárůstu hodnot dochází u materiálů POLARTEC černý, POLARTEC béžový, MAKEDONIE. U materiálů zařazených do intervalu 2 hodnoty narůstají pozvolna, a u materiálů zařazených do intervalu 1 se plochy zvětšují jen nepatrně.

5.1.4 Druhá minuta měření – průměrné hodnoty rubní strany

Tabulka č. 10 Průměrné hodnoty druhé minuty snímání rubní strany vzorku

snímání rubní strany vzorku – průměrné hodnoty ploch v mm ²				
2. Minuta (s)	DOC 841-1	DOC 841-2	DTC 419	FSC 247
65	0,1	54,36	24,024	25,62
70	0,1	55,844	29,822	40,034
75	0,1	56,706	33,012	71,964
80	0,118	57,586	35,744	99,714
85	0,138	57,99	37,558	113,524
90	0,338	112,37	39,266	124,234
95	0,394	143,894	40,806	131,608
100	0,448	162,034	42,602	139,568
105	0,706	174,432	46,6	161,504
110	1,972	181,404	65,436	189,546
115	42,704	189,728	70,628	215,442
120	57,34	203,63	78,954	247,164
2. Minuta (s)	JP 347	JW 302	OPS 575	FCM PRATO
65	58,358	2,22	14,692	10,106
70	62,868	2,77	18,084	11,846
75	66,3	3,2286	19,35	13,152

80	68,15	4,716	20,688	15,366
85	69,452	9,264	21,642	16,618
90	71,176	11,03	23,126	21,972
95	72,278	13,608	24,446	28,17
100	72,976	17,038	25,31	33,856
105	74,806	20,542	26,684	38,75
110	76,186	25,696	31,914	43,136
115	77,342	32,304	35,084	47,668
120	78,88	36,442	36,516	51,886
2. Minuta (s)	GILDAN	JSPX	MAKEDONIE	OXYLANE
65	32,572	89,994	182,008	2,346
70	37,228	101,734	186,812	2,436
75	46,584	112,536	190,022	2,678
80	54,82	123,832	193,872	4,108
85	69,27	131,116	196,788	7,54
90	81,43	137,736	199,41	8,95
95	92,892	143,272	203,374	11,592
100	100,76	149,618	207,406	15,37
105	112,554	153,47	209,516	20,578
110	126,068	157,284	211,702	29,014
115	136,156	160,366	213,626	39,486
120	144,172	166,326	215,808	44,806
1. Minuta (s)	USA DUKE	POLARTEC ČERNÝ	POLARTEC BĚŽOVÝ	POLARTEC ŠEDÝ
65	80,66	246,504	171,562	66,612
70	93,792	258,376	179,396	76,764
75	101,092	266,808	183,57	88,748
80	119,742	274,288	187,386	99,476
85	154,186	281,256	188,672	108,092
90	172,654	318,74	190,426	122,898
95	185,878	339,33	191,622	140,208
100	196,038	354,622	192,446	155,928
105	202,364	363,942	192,822	165,978
110	211,662	373,172	193,178	177,514
115	217,646	381,01	193,42	182,284
120	224,208	386,088	193,732	186,61



Graf č. 3 Výsledné hodnoty druhé minuty snímání rubní strany vzorku

Naměřené hodnoty se pohybují od 36,442 do 386,088 mm².

- Interval 1 {36,442 ~ 78,954} Pomalý průběh, naměřené hodnoty se nepatrně zvyšují. Zahrnuje materiály: DOC 841-1 (57,34), DTC (78,954), JP 347 (78,88), JW 302 (36,442), OPS 575 (36,516), FCM PRATO (51,886), OXYLANE (44,806)
- Interval 2 {144,172 ~ 247,164} Střední průběh. Hodnoty se úměrně k časovému úseku zvyšují. Zahrnuje materiály: DOC 841-2 (203,63), FSC 247 (247,164), GILDAN (144,172), JSPX (166,326), MAKEDONIE (215,808), USA DUKE (224,646), POLARTEC šedý (186,284), POLARTEC béžový (193,732)
- Interval 3 {386,088} Rychlý průběh. Zahrnuje materiály: POLARTEC černý (386,088)

Hodnoty ploch u převážné většiny materiálů úměrně pozvolna narůstají, u materiálů FSC 247, POLARTEC černý, GILDAN, DOC 841-2 vzrůstají poměrně rychleji.

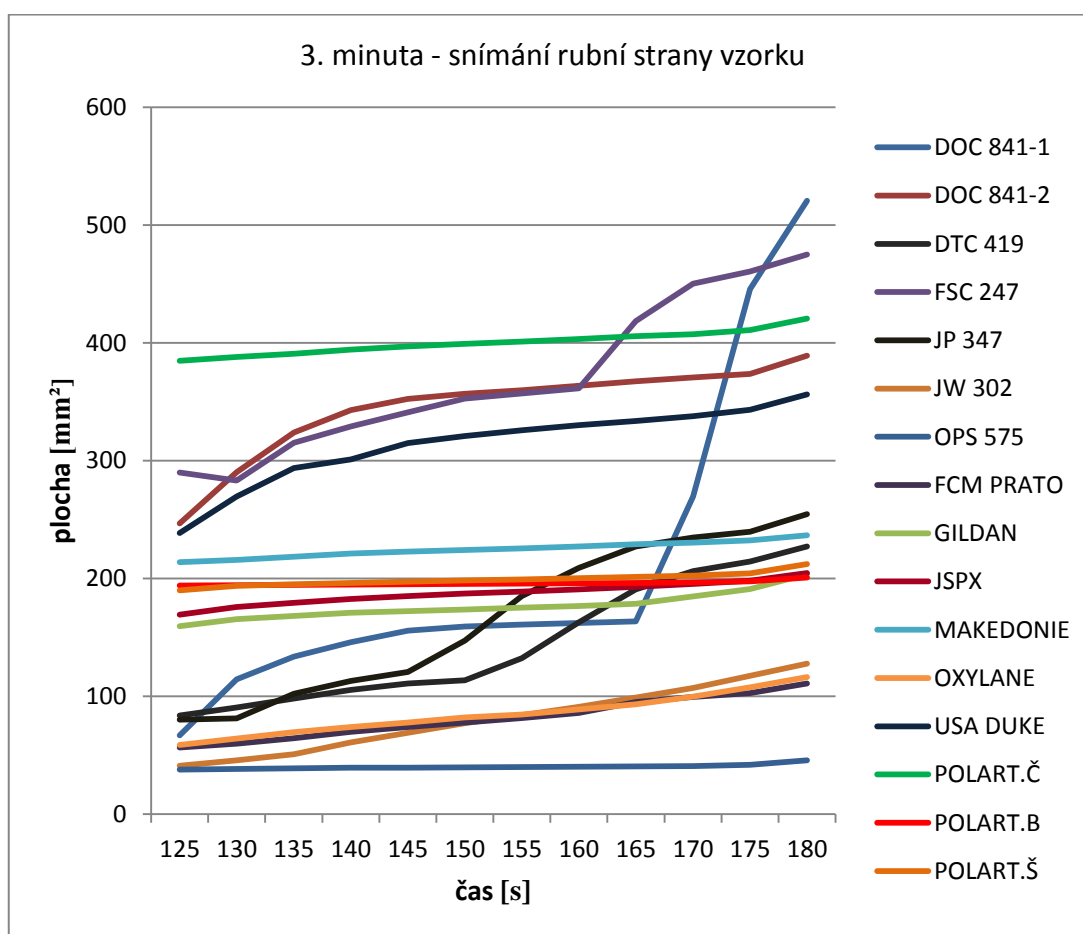
5.1.6 Třetí minuta měření – průměrné hodnoty rubní strany

Tabulka č. 12 Průměrné hodnoty třetí minuty snímání rubní strany vzorku

snímání rubní strany vzorku – průměrné hodnoty ploch v mm²

3. Minuta (s)	DOC 841-1	DOC 841-2	DTC 419	FSC 247
125	66,768	246,674	83,702	289,974
130	114,322	290,16	90,418	282,978
135	133,636	323,758	98,046	315,102
140	145,97	342,906	105,564	329,096
145	155,656	352,48	110,866	340,924
150	159,25	356,642	113,672	352,608
155	160,736	359,758	132,434	357,064
160	162,148	363,5	162,872	361,338
165	163,622	367,37	190,848	418,52
170	269,43	370,56	206,274	450,176
175	445,474	373,532	214,25	460,612
180	520,588	389,106	227,25	474,864
3. Minuta (s)	JP 347	JW 302	OPS 575	FCM PRATO
125	80,166	40,99	37,908	56,432
130	81,208	45,648	38,442	59,846
135	102,296	50,802	38,99	64,52
140	113,16	60,762	39,286	69,82
145	120,586	69,032	39,486	73,782
150	147,288	77,266	39,706	77,706
155	185,106	84,092	39,928	81,43
160	208,968	90,984	40,148	85,998
165	227,252	98,946	40,386	95,054
170	234,882	107,108	40,714	99,514
175	239,706	117,268	41,724	102,614
180	254,634	127,72	45,758	110,792
3. Minuta (s)	GILDAN	JSPX	MAKEDONIE	OXYLANE
125	159,594	169,406	213,918	58,8
130	165,41	175,846	215,806	64,008
135	168,256	179,366	218,54	69,618
140	170,964	182,634	221,126	73,894
145	172,304	185,142	222,688	77,654
150	173,608	187,142	224,098	82,09
155	175,276	188,74	225,53	84,422
160	176,616	190,702	227,104	88,94
165	178,432	192,812	228,958	93,294
170	184,832	195,358	230,28	99,79
175	190,956	198,018	232,424	107,636
180	203,424	204,5126	236,568	116,166
3. Minuta (s)	USA DUKE	POLARTEC ČERNÝ	POLARTEC BÉŽOVÝ	POLARTEC ŠEDÝ
125	238,456	384,624	194,022	190,022

130	269,492	388,04	194,334	193,654
135	293,682	390,616	194,62	195,192
140	301,106	394,3	194,862	196,296
145	314,882	396,942	195,132	197,192
150	320,97	399,092	195,352	198,22
155	325,74	400,956	195,62	199,284
160	330,232	403,066	195,93	200,202
165	333,534	405,64	196,304	201,282
170	337,696	407,148	196,73	202,53
175	343,218	410,898	197,46	204,272
180	356,24	420,506	200,678	212,324



Graf č. 5 Výsledné hodnoty třetí minuty snímání rubní strany vzorku

Naměřené hodnoty se pohybují od 45,758 do 520,588 mm².

- Interval 1 (45,758 ~ 127,72) Pomalý průběh, naměřené hodnoty se nepatrně zvyšují. Zahrnuje materiály: JW 302 (127,72), OPS 575 (45,758), FCM PRATO (110,792), OXYLANE (116,166)

- Interval 2 (200,678 ~ 254,634) Střední průběh. Hodnoty se úměrně k časovému úseku zvyšují. Zahrnuje materiály: DTC 419 (227,25), JP 347 (254,634), GILDAN (203,424), JSPX (204,5126), MAKEDONIE (236,568), POLARTEC šedý (212,324), POLARTEC béžový (200,678)
- Interval 3 (356,24 ~ 520,588) Rychlý průběh. Zahrnuje materiály: DOC 841-1 (520,588), DOC 841-2 (389,106), FSC 247 (474,864), POLARTEC černý (420,506), USA DUKE (356,24)

Všechny materiály vykazují postupné a úměrné narůstání hodnot ploch. U materiálu DOC 841-1 ve 170. sekundě rapidně naroste hodnota plochy, materiál FSC 247 v první třetině minuty kolísá, ve 165. sekundě se plocha neúměrně zvětší.

5.1.5 První minuta měření – průměrné hodnoty lící strany

Tabulka č. 9 Průměrné hodnoty první minuty snímání lící strany vzorku

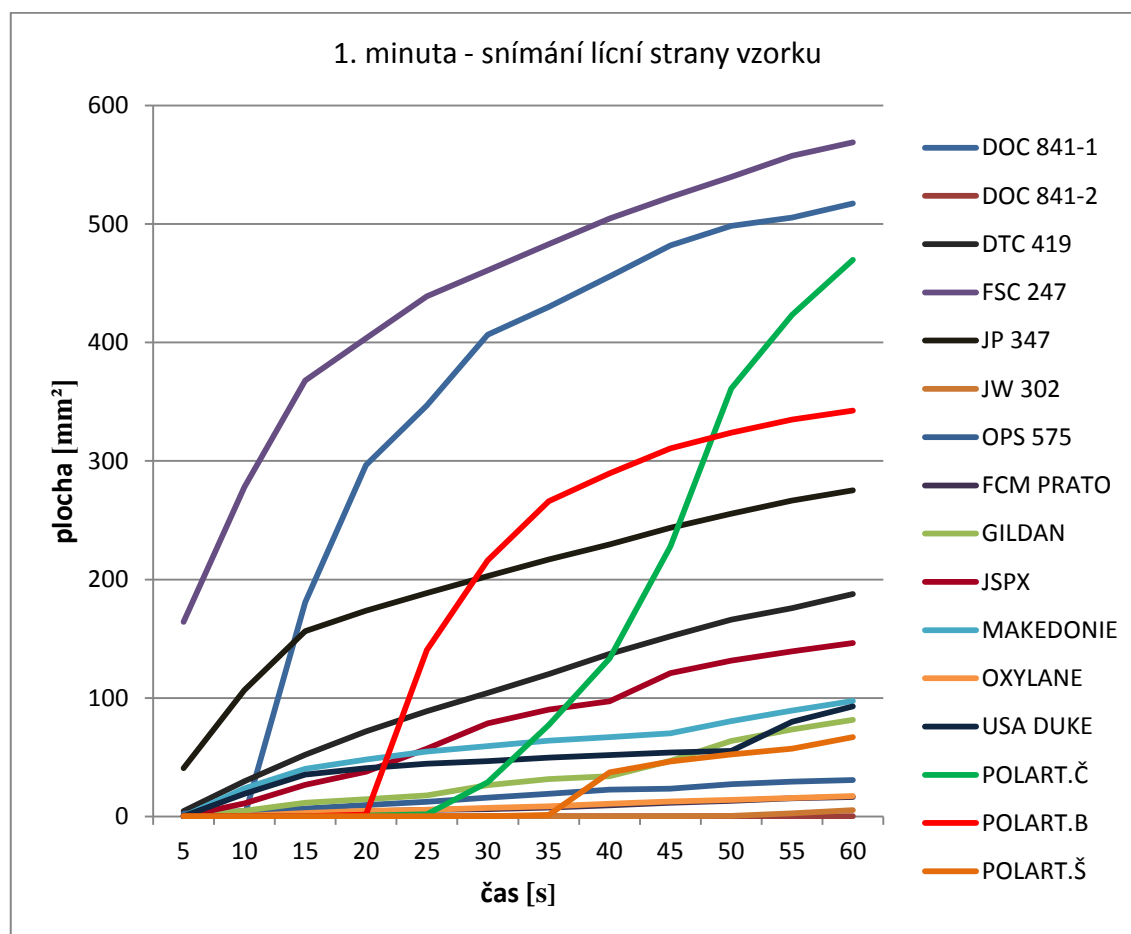
snímání lící strany vzorku – průměrné hodnoty ploch v mm ²				
1. Minuta (s)	DOC 841-1	DOC 841-2	DTC 419	FSC 247
5	0,09	0,14	4,68	164,34
10	0,09	0,14	29,736	277,83
15	180,636	0,14	51,992	367,776
20	296,632	0,14	71,796	403,504
25	346,744	0,14	88,832	438,916
30	406,582	0,14	104,388	460,662
35	430,014	0,14	120,08	482,95
40	455,666	0,14	137,146	504,606
45	481,748	0,14	152,068	522,556
50	498,212	0,14	166,082	539,794
55	505,484	0,14	175,952	557,37
60	517,19	0,14	187,852	568,95
1. Minuta (s)	JP 347	JW 302	OPS 575	FCM PRATO
5	40,888	0,14	2,538	0,14
10	106,61	0,14	4,65	0,37
15	156,322	0,14	6,876	2,798
20	173,7	0,14	9,816	4,254
25	188,538	0,14	12,47	5,652
30	202,78	0,14	15,892	6,28
35	216,818	0,17	19,062	7,648
40	229,688	0,228	22,6	9,42
45	243,756	0,4	23,542	11,588
50	255,456	0,658	27,338	13,1

55	266,558	2,57	29,478	15,268
60	275,26	5,308	30,848	16,582
1. Minuta (s)	GILDAN	JSPX	MAKEDONIE	OXYLANE
5	0,14	0,14	0,14	0,14
10	4,734	10,956	23,798	0,626
15	11,526	26,68	40,322	2,938
20	14,522	37,722	47,998	4,794
25	17,718	57,214	54,876	5,622
30	26,366	78,558	59,498	7,188
35	31,558	90,176	64,12	8,674
40	34,13	97,25	67,088	10,784
45	47,112	120,994	70,226	12,612
50	63,662	131,438	80,586	14,038
55	73,366	139,284	89,518	15,724
60	81,442	146,418	97,594	17,234
1. Minuta (s)	USA DUKE	POLARTEC ČERNÝ	POLARTEC BÉŽOVÝ	POLARTEC ŠEDÝ
5	0,14	0,19	0,19	0,14
10	19,174	0,19	0,19	0,14
15	35,496	0,226	0,19	0,14
20	40,69	0,858	1,676	0,14
25	44,542	1,898	140,41	0,14
30	46,74	28,81	216,058	0,14
35	49,594	77,36	266,022	1,254
40	51,848	133,42	289,442	37,266
45	53,96	227,956	310,482	46,426
50	55,388	361,04	323,978	52,448
55	79,844	423,234	334,908	57,386
60	92,844	469,776	342,526	66,972

Naměřené hodnoty se pohybují od 0,14 do 568,95 mm².

- Interval 1 {0,14 ~ 97,594} Pomalý průběh, naměřené hodnoty se nepatrně zvyšují. Zahrnuje materiály DOC 841-2 (0,14), GILDAN (81,442), USA DUKE (92,844), FCM PRATO (16,582), OPS 575 (30,848), JW 302 (5,308), OXYLANE (17,234), MAKEDONIE (97,594), POLARTEC šedý (66,972)
- Interval 2 {146,418 ~ 187,852} Střední průběh. Hodnoty se úměrně k časovému úseku zvyšují. Zahrnuje materiály: JSPX (146,418), DTC 419 (187,852),
- Interval 3 {275,26 ~ 568,95} Rychlý průběh. Zahrnuje materiály: FSC 247 (568,95), POLARTEC černý (469,776), POLARTEC béžový (342,526), JP 347 (275,26), DOC 841-1 (517,19)

Hodnoty ploch materiálů úměrně vzrůstají, avšak u materiálů FSC 247, DOC 841-1, POLARTEC černý a POLARTEC béžový prudce narůstají.



Graf č. 2 Výsledné hodnoty první minuty snímání lící strany vzorku

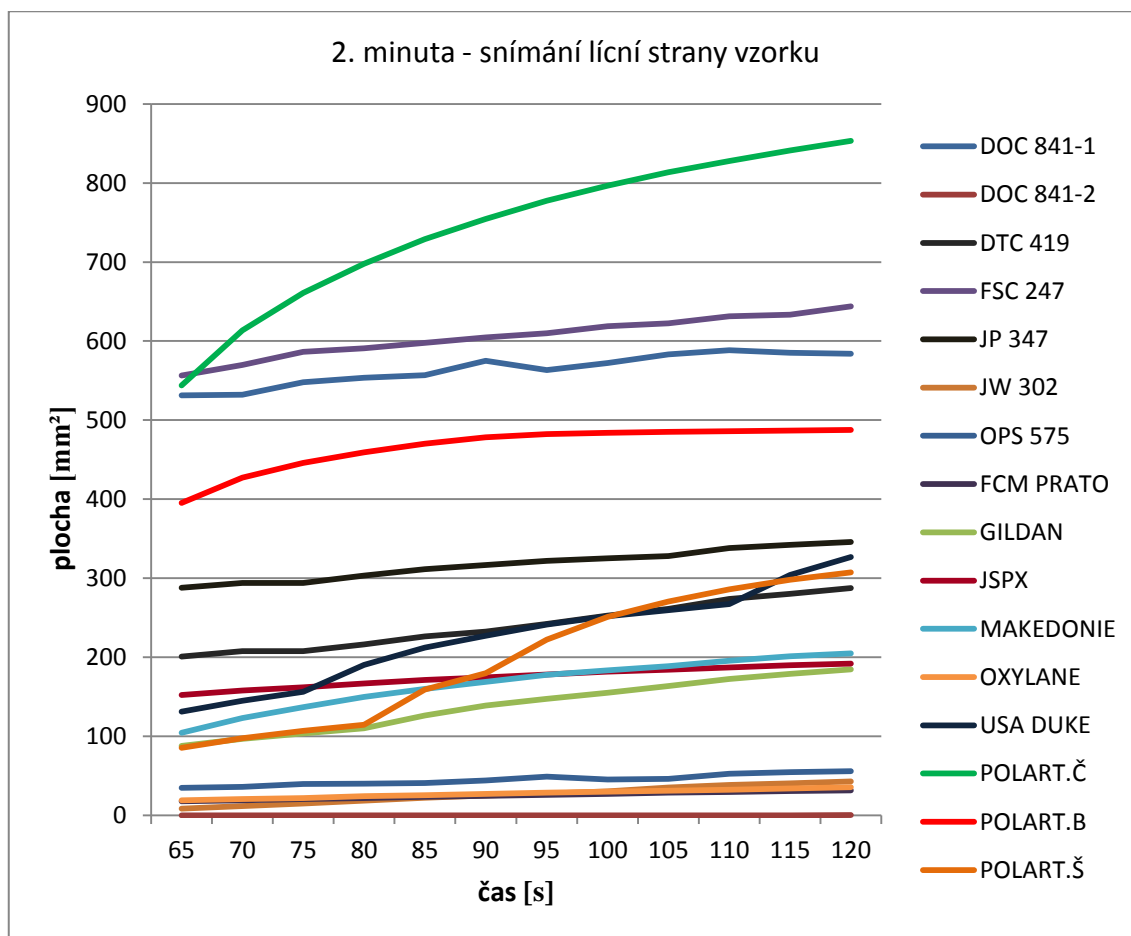
5.1.6 Druhá minuta měření – průměrné hodnoty lící strany

Tabulka č. 11 Průměrné hodnoty druhé minuty snímání lící strany vzorku

snímání lící strany vzorku – průměrné hodnoty ploch v mm ²				
2. Minuta (s)	DOC 841-1	DOC 841-2	DTC 419	FSC 247
65	531,46	0,14	200,982	556,332
70	532,2	0,14	207,972	569,956
75	547,868	0,14	207,972	586,25
80	553,658	0,14	216,36	590,814
85	556,94	0,14	226,264	597,778
90	575,004	0,14	232,714	604,796
95	563,274	0,14	242,158	609,734
100	572,436	0,14	252,572	618,808

105	583,34	0,14	261,248	622,306
110	588,532	0,23	273,748	631,422
115	585,08	0,26	280,226	633,54
120	584,022	0,318	287,504	644,064
2. Minuta (s)	JP 347	JW 302	OPS 575	FCM PRATO
65	288,13	8,704	34,918	17,922
70	294,152	11,954	36,184	19,034
75	294,152	15,152	39,78	20,662
80	303,482	18,92	40,15	21,948
85	311,616	22,288	40,806	23,432
90	316,548	25,082	44,346	24,77
95	321,916	27,822	49,196	26,084
100	325,34	30,59	45,63	27,254
105	328,112	35,27	46,372	28,678
110	338,112	38,468	52,822	29,822
115	342,434	40,692	54,704	30,85
120	345,718	42,86	56,046	31,76
2. Minuta (s)	GILDAN	JSPX	MAKEDONIE	OXYLANE
65	88,15	152,266	104,692	19,092
70	96,966	157,918	123,25	20,662
75	103,616	162,142	137,118	22,142
80	110,434	166,736	149,788	24,256
85	126,388	171,22	160,088	25,57
90	138,886	174,812	168,934	27,05
95	147,56	178,464	177,926	28,706
100	155,378	181,862	183,346	30,02
105	163,768	184,314	188,712	31,388
110	172,588	186,97	195,816	32,674
115	179,18	189,936	201,182	34,242
120	184,8	192,076	204,948	35,84
2. Minuta (s)	USA DUKE	POLARTEC ČERNÝ	POLARTEC BÉŽOVÝ	POLARTEC ŠEDÝ
65	131,266	543,714	395,164	85,466
70	145,22	613,494	427,472	97,734
75	156,438	660,964	446,056	107,068
80	190,248	697,654	459,464	114,63
85	212,078	729,068	470,258	159,374
90	227,062	754,57	478,324	179,692
95	241,524	777,62	482,304	222,582
100	251,976	796,54	484,088	251,06
105	259,538	813,486	485,238	270,694
110	267,472	827,692	486,17	286,02
115	304,31	841,148	486,874	297,948

120	326,94	853,156	487,582	307,534
-----	--------	---------	---------	---------



Graf č. 4 Výsledné hodnoty druhé minuty snímání lící strany vzorku

Naměřené hodnoty se pohybují od 0,318 do 853,156 mm².

- Interval 1 (0,318 ~ 56,046) Pomalý průběh, naměřené hodnoty se nepatrně zvyšují. Zahrnuje materiály: DOC 841-2 (0,318), JW 302 (42,86), OPS 575 (56,046), FCM PRATO (31,76), OXYLANE (35,84)
- Interval 2 (184,8 ~ 345,718) Střední průběh. Hodnoty se úměrně k časovému úseku zvyšují. Zahrnuje materiály: DTC 419 (287,504), JP 347 (345,718), GILDAN (184,8), JSPX (192,076), MAKEDONIE (204,948), USA DUKE (326,94), POLARTEC šedý (307,534)
- Interval 3 (487,582 ~ 853,156) Rychlý průběh. Zahrnuje materiály: DOC 841-1 (584,022), FSC 247 (644,064), POLARTEC černý (853,156), POLARTEC béžový (487,582)

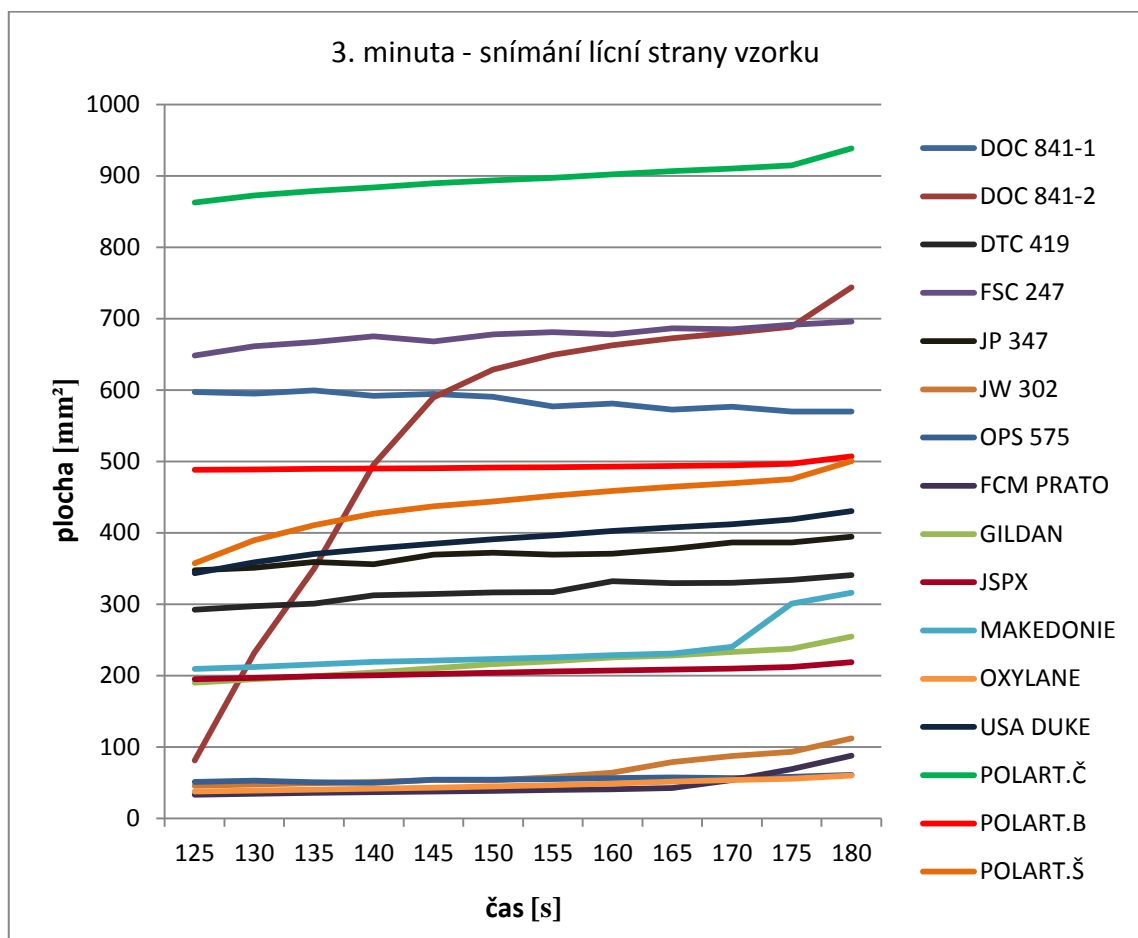
Hodnoty ploch se úměrně zvyšují, u materiálu POLARTEC černý se plocha rychle zvětšuje, u materiálu DOC 841-1 hodnoty ploch mírně kolísají.

5.1.7 Třetí minuta měření – průměrné hodnoty lící strany

Tabulka č. 13 Průměrné hodnoty třetí minuty snímání lící strany vzorku

snímání lící strany vzorku – průměrné hodnoty ploch v mm ²				
3. Minuta (s)	DOC 841-1	DOC 841-2	DTC 419	FSC 247
125	597,064	80,846	292,098	648,23
130	594,78	231,858	297,06	661,186
135	599,404	349,57	300,77	667,15
140	591,584	495,416	312,414	675,196
145	594,324	589,474	314,126	668,174
150	590,288	628,394	316,38	677,71
155	576,972	649,03	317,122	681,19
160	580,998	662,64	332,22	677,994
165	572,408	672,486	329,566	686,324
170	576,688	680,082	329,936	684,928
175	569,788	688,75	333,762	691,29
180	569,756	743,796	340,78	695,944
3. Minuta (s)	JP 347	JW 302	OPS 575	FCM PRATO
125	347,486	45,572	50,938	32,96
130	351,138	47,256	52,648	34,44
135	359,184	49,112	50,536	35,726
140	355,876	51,164	49,766	36,812
145	369,402	53,564	54,048	37,61
150	371,91	53,306	53,934	38,61
155	369,146	57,846	55,074	39,722
160	370,914	63,864	56,356	40,864
165	377,59	78,99	57,102	42,29
170	386,292	87,32	56,588	53,82
175	386,23	93,112	58,014	69,058
180	394,312	112,06	60,838	87,806
3. Minuta (s)	GILDAN	JSPX	MAKEDONIE	OXYLANE
125	189,966	194,786	209,17	37,326
130	194,844	196,816	212,194	38,924
135	199,154	198,814	215,478	40,236
140	204,29	200,44	219,044	41,52
145	210,34	202,094	220,984	43,06
150	215,876	203,694	223,068	44,818
155	219,986	205,52	225,578	46,428
160	225,208	206,83	228,602	48,768
165	228,176	208,344	230,632	51,308

170	233,114	209,824	240,074	53,562
175	237,59	211,91	300,914	55,474
180	254,696	218,646	316,184	59,954
3. Minuta (s)	USA DUKE	POLARTEC ČERNÝ	POLARTEC BÉŽOVÝ	POLARTEC ŠEDÝ
125	343,546	862,784	488,174	357,33
130	358,672	872,338	488,81	389,546
135	370,114	878,586	489,368	410,58
140	377,678	883,528	489,924	426,56
145	384,698	889,292	490,482	437,176
150	390,946	893,344	491,114	443,852
155	396,284	897,322	491,746	452,07
160	402,62	902,114	492,526	458,748
165	407,384	906,392	493,492	464,398
170	411,948	910,108	494,496	469,364
175	418,854	914,828	496,726	475,014
180	430,496	938,586	507,208	500,262



Graf č. 6 Výsledné hodnoty třetí minuty snímání lícní strany vzorku

Naměřené hodnoty se pohybují od 59,954 do 938,586 mm².

- Interval 1 (59,954 ~ 87,806) Pomalý průběh, naměřené hodnoty se nepatrně zvyšují. Zahrnuje materiály: JW 302 (112,06), OPS 575 (60,838), FCM PRATO (87,806), OXYLANE (59,954)
- Interval 2 (218,646 ~ 394,312) Střední průběh. Hodnoty se úměrně k časovému úseku zvyšují. Zahrnuje materiály: DTC 419 (340,78), JP 347 (394,312), GILDAN (254,696), JSPX (218,646), MAKEDONIE (316,184)
- Interval 3 (430,496 ~ 938,586) Rychlý průběh. Zahrnuje materiály: DOC 841-1 (569,756), DOC 841-2 (743,796), FSC 247 (695,944), POLARTEC černý (938,586), USA DUKE (430,496), POLARTEC šedý (500,262), POLARTEC béžový (507,208)

Hodnoty všech materiálů se nepatrně zvyšují, plochy se úměrně zvětšují, u materiálu DOC 841-2 dochází k rychlému zvětšení plochy.

5.2 Výsledky

5.2.1 První minuty měření

Při srovnání hodnot naměřených snímáním rubní strany se snímáním lící strany pozorujeme rychlost transportu kapaliny. Skupiny materiálů zařazené do intervalů zůstávají obsahem přibližně stejné. Materiály zařazené do prvního intervalu vypovídají svými hodnotami, že zatímco plochy snímané z lící strany dosahují hodnot (0,14; 5,308; 30,848; 16,582; 81,442; 97,594; 17,234; 92,844; 66,972) plochy snímané rubní stranou dosahují mnohem menších hodnot (0,1; 18,596; 0,108; 8,596; 0,108; 8,656; 13,81; 1,89; 8,29; 2,622), tedy transport šíření kapaliny je velmi pomalý. Materiály zařazené do druhého a třetího intervalu jednak pojmu na své lící straně větší plochu a tím urychlují transport kapaliny efektivněji, plochy na rubní straně jsou úměrně větší.

5.2.2 Druhé minuty měření

Ve druhé minutě měření se hodnoty ploch měřených snímáním rubní i lící strany zařazené ve třetím intervalu lícího snímání mění na druhý interval snímání rubní strany. Hodnoty plochy (584,022; 644,064; 487,582) snímání lící strany zařazené do třetího intervalu, při snímání rubní strany zařazené do intervalu 2: (203,63; 247,164; 193,732)

5.2.3 Třetí minuty měření

Plochy snímané lící i rubní stranou začínají mít podobné hodnoty. Např. materiál DOC 841-1 (569,756 / 520,588), GILDAN (254,696 / 203,424), OPS 575 (60,838 / 45,758).

5.2.2 Porovnání výsledků dle materiálového složení

V grafickém znázornění je patrný vliv materiálového složení na průběh měření. Materiál s nejrychlejším šířením vlhkosti kapaliny je jednoznačně Polartec černý.

Celá skupina pletenin zahrnující Polartec černý, Polartec béžový, DOC 841 a Polartec šedý, která je vyrobena ze 100% Polyesteru vykazuje nejlepší výsledky. Doporučila bych výrobu funkčních oděvů právě z těchto materiálů.

Skupina materiálů ze 100% Bavlny (FCM PRATO, GILDAN, JSPX, OXLANE) naopak vykazuje velmi pomalý průběh celého měření a tudíž se podle mého názoru nejedná o materiály s managementem kapalně vlhkosti. Materiál JW 302 složením ze 100% Merina a materiál OPS 575 ze 100% Polypropylenu měli překvapivě velmi pomalý průběh šíření kapaliny. Další směsové materiály měly lineárně vzrůstající průběh.

ZÁVĚR

Tento experiment simuluje odvod potu od lidské pokožky a rychlost šíření kapalné vlhkosti oděvem. Má dobře hodnotitelné výsledky, tedy si myslím, že jako metoda šíření kapalné vlhkosti může uspět. Během experimentu byly zjištěny jisté nedostatky, které by při pokračování na tomto experimentu měly být odstraněny. Hlavním úskalím je moment vstřikování kapaliny pipetou. Jelikož kolmá vzdálenost pipety od vzorku byla z důvodů snímání plochy 1,5 cm, kapka vstříknutá pipetou na vzorek se někdy rozstříkla do více kapek. Ideální m stavem by měla být kapka, která se nerozdělí na malé kapky. To pro měření plochy nevadí, ale může to mít vliv na rychlosti vpíjení kapky do materiálu v první minutě. Je to můj poznatek, kterým si vysvětluji někdy až příliš rozdílné hodnoty ve výsledných tabulkách pro jednotlivé materiály (Příloha 1 v elektronické podobě).

Dalším úskalím je neporovnatelnost výsledků snímání z rubní a lící strany. Aby byly výsledky porovnatelné, museli bychom měřit dvěma termovizními kamerami v tom samém čase a tom samém úhlu kamery a její vzdálenosti. Výsledky uskutečněného měření by mohly být vyjádřeny procentuálně, ale stále by toto hodnocení byla zkreslující skutečnost.

Doporučenými materiály jsou Polartec černý, Polartec béžový a DOC 841 pro výrobu funkčních triček. Zajímavostí v experimentu je, že jsem měřila vzorek DOC 841 dvakrát. Pokaždé byla stanovena jiná lící strana. Výsledky se příliš nelišily, což příkládám materiálovému složení – 100% Polyester. Kdyby to byl směsový materiál, pak by určité měření ukázalo jednoznačně jen na jednu z nich. Materiálové složení je tím hlavním parametrem, který zajišťuje rychlé šíření kapalné vlhkosti. Tato metoda hypoteticky ve srovnání s metodou MMT měří plochy šíření kapalné vlhkosti přesněji. Je tedy účinná pro přesné stanovení plochy s ohledem na nerovnoměrně se šířící kapalinu v závislosti na struktuře materiálu. Termovizní kamera sloužila v tomto experimentu jako prostředek, který umožní zobrazit vlnové délky, které pouhým okem nevidíme.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DRASTICH, A. Netelevizní zobrazovací systémy. VUT v Brně, Brno 2001. 80 – 214 – 1974 – 1
- [2] FLIR SYSTEMS, ThermaCAM TM S 60 – Users manual. FLIR Systems AB. Sweden: Publ. No. 1557538 2004
- [3] Termovize VM: Termovizní měření. [online]. [cit. 2012-11-01]. Dostupné z: www.termovize-mereni.cz
- [4] HRDLÍČKOVÁ, Z. Alternativní metoda hodnocení komfortu oděvních výrobků pomocí termovizní kamery. Liberec. 2011 85 s. Diplomová práce na Fakultě textilní Technické univerzity v Liberci na katedře oděvnictví
- [5] Delljová R.A., Afanasjevová R.F., Čubarovová Z.S.: Hygiena odívání, SNTL, Praha 1984
- 6] STANĚK, J., KUBÍČKOVÁ, M.: Oděvní materiály, skriptum VŠST Liberec, 1986
- [7] Li Y.: The Science of Clothing Comfort, The Textile Institute, Manchester, 2001
- [8] PROF. ING. LUBOŠ HES, DrSc. Základy komfortu textilií. Technická univerzita v Liberci: Fakulta textilní.
- [9] Olga Troynikov, Wiah Wardiningsih, Moisture Management Properties of Wool/ Polyester and Wool/ Bamboo Knitted Fabrics for the Sportswear Base Layer, Textile Research Journal, January 2011
- [10] Junyan Hu, Yi Li, Kwok – Wing Yeung, Anthony S. W. Wong, Weilin Xu, Moisture Management TESTER: A Method to characterize Fabric Liquid Moisture Management Properties, Textile Research Journal, January 2005

- [11] KREMEŇOVÁ, Michaela. Textilní materiály ve výuce fyziky. Brno, 2009. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, katedra fyziky. Vedoucí práce Doc. RNDr. Petr Sládek, CSc. [online]. [cit. 2012-12-02]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/106282/pedf_m/Textilni_materialy_ve_vyuce_fyzice.txt.
- [12] HAVELKA, A. /Halasová, A. Tepelné a vlhkotepelné tvarování v konfekci. Liberec. Fakulta textilní: Technická univerzita v Liberci, 2003.
- [13] SÝKORA, K. Základy sdílení tepla. 1962.
- [14] HORNÍČEK, P. Odvod vlhkosti a tepla z povrchu lidského těla. 2002
- [15] VARGOVÁ, H. Principy snímačů teploty a možnosti jejich aplikací v textilu. Katedra oděvnictví. Učební text předmětu STE.
- [16] ZEHNULA, K.: Automatizace a regulace. Svazek 21. Snímače neelektrických veličin. 2. Vyd. Praha, SNTL-Nakladatelství technické literatury.1983.372s.
- [17] KOVÁŘ, R. Struktura a vlastnosti plošných textilií. 2002
- [18] STANĚK, J. Nauka o textilních materiálech díl 1. Část 4. Vlastnosti délkových a plošných textilií, Liberec 1988
- [19] CULKOVÁ, P. Možnosti hodnocení nasákavosti textilie pomocí termovize. 2007
- [20] KREIDL, M. Měření teploty - senzory a měřicí obvody. Praha 2005, ISBN 80-7300-145-4
- [21] MILITKÝ, J. Technické textilie – vybrané kapitoly. Technická univerzita v Liberci, 2007
- [22] MOISTURE MANAGEMENT TESTER, M290 MMT – Users manual. SDL ATLAS, Rev. 4. 1(11/10), SN:808G0007.

- [22] Bezdotykové měření teploty: Soubor technických informací poskytovaných firmou Omega ČÍSLO 1, Zpravodaj: pro měření a regulaci. [online]. [cit. 2012-11-01]. DOI: Newport Omega č. 1,2. Dostupné z: <http://www.newport.cz>
- [22] Sportisimo: Funkční prádlo [online]. Sportisimo s.r.o, 2012 [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: <http://www.sportisimo.cz/poradna/funkcni-pradlo/>
- [23] The Ultimate Fabric Performance™: Advansa. COOLMAX® FABRICS COMFORT SYSTEM [online]. [cit. 2012-11-05]. Dostupné z: <http://www.advancedfibres.eu/coolmax.htm>
- [24] POLARTEC: Polartec products, Comfort. [online]. [cit. 2012-11-15]. Dostupné z: <http://www.polartec.com/>
- [25] **Junyan Hu, Yi Li, Kwok-Wing Yeung, Anthony S. W. Wong and Weilin Xu**, Moisture Management Tester: A Method to Characterize Fabric Liquid Moisture Management Properties, Textile Research Journal, **2005**
- [26] S.X, Wang, Y.Li, Hiromi Tokura, J. Y. Hu, Y. X. Han, Y. L. Kwok and R.W. Au, Effect of moisture Management on functional performance of cold protective clothing, , Textile Research Journal, January 2005

SEZNAM PŘÍLOH

1. **Příloha 1** v elektronické podobě obsahuje tabulky měření jednotlivých materiálů. Průměrné hodnoty uvedené v experimentální části vychází právě z těchto hodnot. V tištěné práci je pouze pro názornost k nahlédnutí tabulka materiálu Polartec černý a to z důvodu velké objemnosti dat. Celá příloha je k nahlédnutí v elektronické podobě.
2. **Příloha 2** v elektronické podobě obsahuje grafické znázornění tabulek z přílohy 1. V tištěné práci je pro názornost grafické znázornění měření materiálu Polartec černý. Celá příloha je k nahlédnutí v elektronické podobě.